

MATKAKESKUKSEN VERKKO

Mastonet-verkon laajennus

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Pekka Virtamäki

TIIVISTELMÄ

Lahdessa otettiin käyttöön uusi matkakeskus 1.2.2016. Matkakeskus on rakennettu rautatieaseman yhteyteen ja keskus palvelee lähi- ja kaukoliikenteen yhdistäjänä. Lahdessa toimii Mastonet-verkko, joka on ilmainen WLAN-verkko asukkaille ja vierailijoille. Verkkoa ylläpitää Lahden ammattikorkeakoulun tekniikanlaitos. Työn tavoitteena oli suunnitella uuden matkakeskuksen alueelle Mastonet-verkon laajennus.

WLAN tarkoittaa langatonta lähiverkkoa, jossa tiedonsiirto tapahtuu radioteitse. Langattomassa lähiverkossa käytetään IEEE 802.11-standardin mukaisia tekniikoita. WLAN-verkossa signaali etenee lähettimestä vastaanottimeen antennien välityksellä. Verkon kuuluvuuteen vaikuttaa taajuus, etäisyys maanpinnasta, erilaiset esteet ja väliaineet. Kanavavalinnalla on myös suuri vaikutus signaalin häiriöttömyyteen.

Työ aloitettiin kanavamittauksella, joka suoritettiin matkakeskuksen alueella olevilla pysäkeillä ja lähtölaitureilla. Mittaukset tehtiin Wi-fi Scanner 3.0-ohjelmalla. Mittaustuloksia käytettiin avuksi kanavasuunnittelussa, jotta välttyttiin kanavapäälekkäisyyksiltä. Tukiasemasuunnittelussa valittiin alueelle viidelle tukiasemalle paikat, niin että WLAN-verkko kattaisi mahdollisimman hyvin pysäkit ja linja-autojen laiturialueen. Antennisuunnittelussa tukiasemiin suunniteltiin käytettäväksi ympärisäteileviä antennia.

Tulevaisuudessa alueen Mastonet-verkkoa on mahdollisuus laajentaa vielä toimimaan rautateiden välissä oleville junalaitureille, joita ei tässä työssä otettu huomioon. Rautatieaseman vieressä olevaan asemapäällikön taloon on kaavailtu tulevaisuudessa avattavaksi leipomo-kahvila ja kesäksi pihalle kesäkahvila. Mahdollisuus olisi laajentaa Mastonet-verkkoa myös tulevalle kahvilan alueelle, missä kahvilan asiakkaat voisivat käyttää ilmaista WLAN-verkkoa.

Asiasanat: WLAN, radiosignaali, WLAN-kanava, antenni

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

VIRTAMÄKI, PEKKA:

WLAN Network for Lahti Travel Centre
Expansion of Mastonet Network

Bachelor's Thesis in Information Technology, 46 pages

Spring 2016

ABSTRACT

A new Travel Centre was opened in downtown Lahti on February 1, 2016. The Travel Centre is located alongside the existing Lahti Railway Station and serves as a transport hub connecting the rail network to long-distance and local bus lines. The City of Lahti provides the public-access Mastonet network, a free open wireless WLAN for residents, visitors and commuters alike. The network is maintained by the Faculty of Technology at the Lahti University of Applied Sciences. The aim of this work was to design an extension to the open Mastonet network to serve the area surrounding the new Travel Centre.

WLAN stands for Wireless Local Area Network, a network in which data is distributed by radio. Communications in wireless local area networks are implemented using technologies adhering to IEEE 802.11 standards and specifications. The signal passes from the transmitter to the receiver using base stations, equipped with antennae. The reception quality in the network is sensitive to various factors frequency, distance from the ground, various obstacles, and the medium through which the signal travels can all cause wide fluctuations in signal strength. The channel selection also plays a significant part in reducing signal interference.

The first phase of the work was channel optimising measurement, carried out at the bus stops and platforms of the Travel Centre. Measurements were made using the WiFi Scanner 3.0 software. The results were used in channel design in order to avoid channel overlapping, which can adversely affect network performance. Base station design to choice the selection of locations for five base stations in the area, in order that the WLAN would give optimal coverage for users at the Centre's bus stops and platforms. In the antenna design, the base stations were engineered to use omnidirectional antennae.

In the future it will be possible to expand the Mastonet network to cover the platforms between the tracks at the nearby Lahti Railway Station, not included in this study. There have been proposals put forward for a bakery and café to be opened at the Stationmaster's House next to the station building, with an adjoining outdoor café in the summer months. It would be feasible to expand the Mastonet network to provide customers at this projected café with free WLAN access.

Keywords: WLAN, radio signal, WLAN channel, antenna

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LANGATON LÄHIVERKKO	3
2.1 WLAN-verkko yleisesti	3
2.2 WLAN-arkkitehtuuri	3
2.3 OSI-malli	6
2.4 WLAN-standardit	7
2.4.1 802.11-standardi	8
2.4.2 802.11b-standardi	8
2.4.3 802.11a-standardi	9
2.4.4 802.11g-standardi	9
2.4.5 802.11n-standardi	10
2.4.6 802.11ac-standardi	10
3 LANGATTOMAN LÄHIVERKON KUULUVUUS	11
4 RADIOKANAVAT	16
5 ANTENNIT	22
6 LANGATTOMAN LÄHIVERKON SUUNNITTELU	26
6.1 Verkon suunnittelun alkutilanne	26
6.2 Langattoman lähiverkon suunnitelma Matkakeskukseen	33
7 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43

LYHENNELUETTELO

AP	Acces point, tukiasema.
BSS	Basic service set, yksi tapa, jolla laitteet voidaan kytkeä langattomasti toisiinsa.
CCK	Complement code keying, modulointitekniikka, jota käytetään langattomissa verkoissa.
DSSS	Direct sequence spread spectrum, suorasekventointi, jossa sanoma jaetaan pieniin osiin ja lähetetään koko taajuusalueella yhtenä signaalina.
DS	Distribution system, runkoverkko.
ESS	Extended service set, yhdistää useamman BSS:n yhteen.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, eurooppalainen telealan standardisoimisjärjestö.
FHSS	Frequency hopping spread spectrum, taajuushyppely-modulointi.
IBSS	Independent basic service set, tapa, jolla laitteet voidaan yhdistää toisiinsa ilman kiinteään verkkoon kytkeytymistä.
IEEE	Institute of electrical and electronics engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö, joka määrittelee standardeja.
ISM	Industrial, scientific and medical, maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa ja on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
ISO	International standards organization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
MAC	Media access control, verkkosovittimen fyysinen osoite.
MIMO	Multiple input multiple output, moniantennitekniikka, joka tarkoittaa useiden antennien käyttämistä tiedonsiirrossa.

OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing, modulointitekniikka.
OSI	Open systems interconnection, pakettivälitteisen tietoliikenteen käsitelmä.
PBCC	Packet binary convolutional coding, modulointitekniikka.
WLAN	Wireless local area network, langaton lähiverkko.

1 JOHDANTO

Lahdessa otettiin käyttöön uusi matkakeskus 1.2.2016. Matkakeskus on rakennettu rautatieaseman yhteyteen ja keskus palvelee lähi- ja kaukoliikenteen yhdistäjänä. Matkakeskus mahdollistaa eri kulkumuodoista siirtymisen toiseen, esimerkiksi linja-autosta junaan tai junasta junaan. Matkakeskuksessa yhdistetyt linja-auto- ja rautatieliikenteen palvelut ovat lisänneet alueella liikkuvien ihmisten määrää.

Nykypäivänä langattomien verkkojen tarve on kasvanut ja verkkoja on käytössä paljon erilaisissa julkisissa paikoissa. Lahdessa toimii Mastonet-verkko, joka on ilmainen WLAN-verkko asukkaille ja vierailijoille. Verkkoa ylläpitää Lahden ammattikorkeakoulun tekniikanlaitos. Verkko on tarkoitettu toimimaan julkisilla paikoilla, kuten esimerkiksi rautatie- ja linja-autoasemalla.

Opinnäytetyö tehdään Lahden ammattikorkeakoululle ja työn tavoitteena on suunnitella uuden matkakeskuksen alueelle Mastonet-verkon laajennus. Alueella on ennestään yksi Mastonet-verkon tukiasema, joka on käytössä rautatieaseman odotustilassa. Alue on laajentunut kuitenkin huomattavasti uuden matkakeskuksen valmistuttua, joten vanha tukiasema ei pysty kattamaan enää Mastonet-verkon kuuluvuutta koko alueelle.

Opinnäytetyön lähtötilanteessa suoritetaan matkakeskuksen alueelle kanavamittauksia, jotka sijoittuvat alueen kaikille pysäkeille ja laitureille. Mittaustulosten perusteella laaditaan suunnitelma siitä, mitä langattoman verkon kanavia tullaan käyttämään Mastonet-verkon laajennuksessa. Suunnitelmaan kuuluu myös tukiasema- ja antennisuunnittelu.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi eri WLAN-verkkoja ja niiden toimintaperiaatteita. Työssä esitellään myös langattoman verkon

standardeja, WLAN-kuuluvuutta, radiokanavia ja antenneista vähän teoriaa.

2 LANGATON LÄHIVERKKO

2.1 WLAN-verkko yleisesti

WLAN (Wireless Local Area Network) tarkoittaa verkkoa, joka toimii tietyllä alueella, kuten esimerkiksi kotona, kouluissa, kahviloissa ja lentokentillä, ja johon voidaan kytkeä langattomasti alueella olevia mobiililaitteita.

Verkko perustuu standardisoituun WLAN-teknologiaan. (Ficom 2016.)

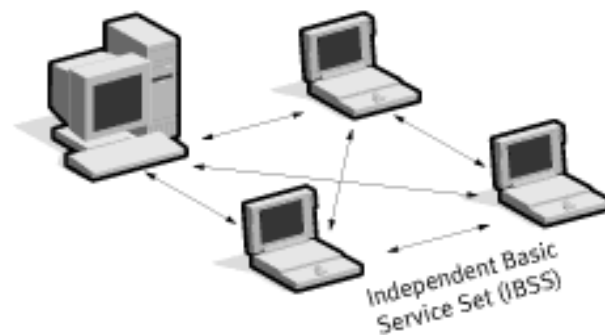
Langaton lähiverkko korvaa yleensä kiinteän lähiverkon tai on sen lisänä. Jos esimerkiksi työpaikalla on käytössä sekä kiinteä että langaton lähiverkko, voi siirryttäessä työpisteestä toiseen jatkaa verkossa olevien ohjelmien ja tietojen käyttöä langattomassa lähiverkossa. (Ficom 2016.)

Langaton lähiverkko muodostuu yhdestä tai useammasta tukiasemasta ja tukiasemia kaapelilla yhdistävästä kiinteästä verkosta sekä muista aktiivilaitteista, kuten esimerkiksi kytkimestä tai reitittimestä, jotka ohjaavat liikennettä verkon sisällä tai palomuurin läpi internetiin. Mobiilit päätelaitteet, eli kannettavat tietokoneet, tabletit ja älypuhelimet ovat radioteitse yhteydessä lähimpään tukiasemaan. Langaton lähiverkko käyttää 2,4 ja 5 gigahertsin taajuutta. (Ficom 2016.)

2.2 WLAN-arkkitehtuuri

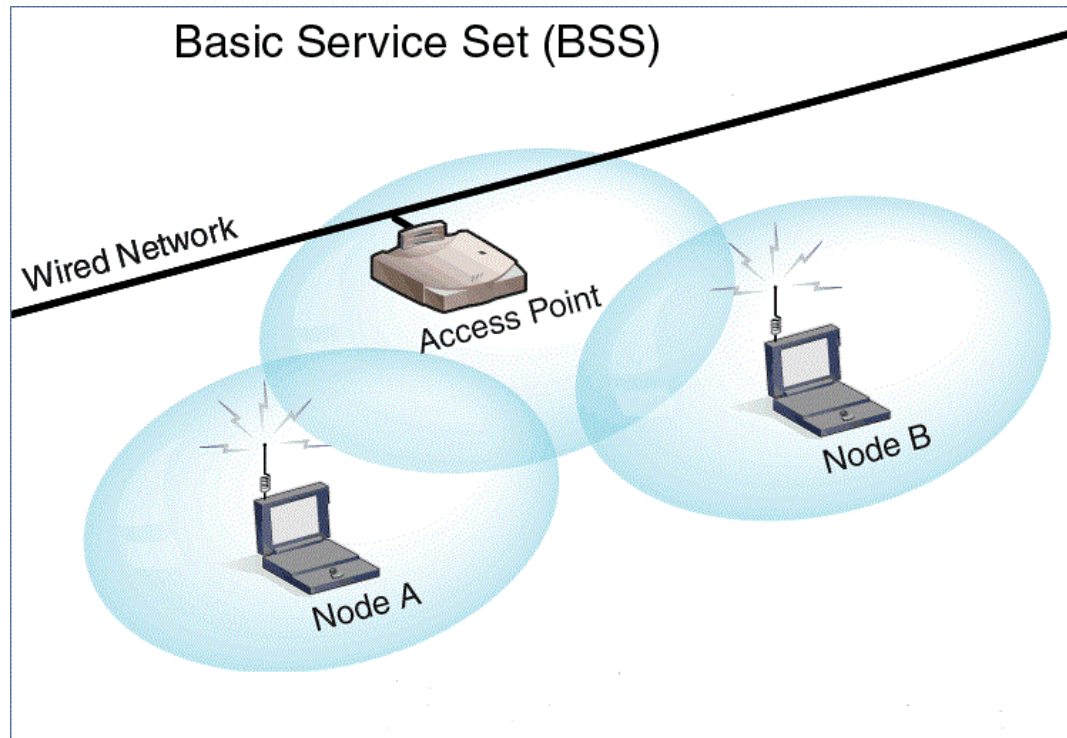
Langaton lähiverkko IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 sallii kolme eri tapaa kytkeä laitteita toisiinsa, mutta itse perusarkkitehtuurista käytetään nimitystä BSS (Basic Service Set). BSS koostuu eri laitteista, jotka osaavat kommunikoida toistensa kanssa tämän suosituksen mukaisesti. (Granlund 2007, 294.)

Laitteiden muodostamasta verkosta, joka ei kytkeydy kiinteään verkkoon, käytetään nimitystä IBSS (Independent Basic Service Set). IBSS-verkko muodostetaan yleensä johonkin tiettyyn tarpeeseen, esimerkiksi kokoukseen tai neuvotteluun, jonne osallistujat tuovat omia laitteitaan. Laitteet keskustelevat keskenään tilaisuuden ajan, jonka jälkeen verkko puretaan. Verkosta käytetään myös nimeä Ad-hoc-verkko (KUVIO 1). (Granlund 2007, 294.)



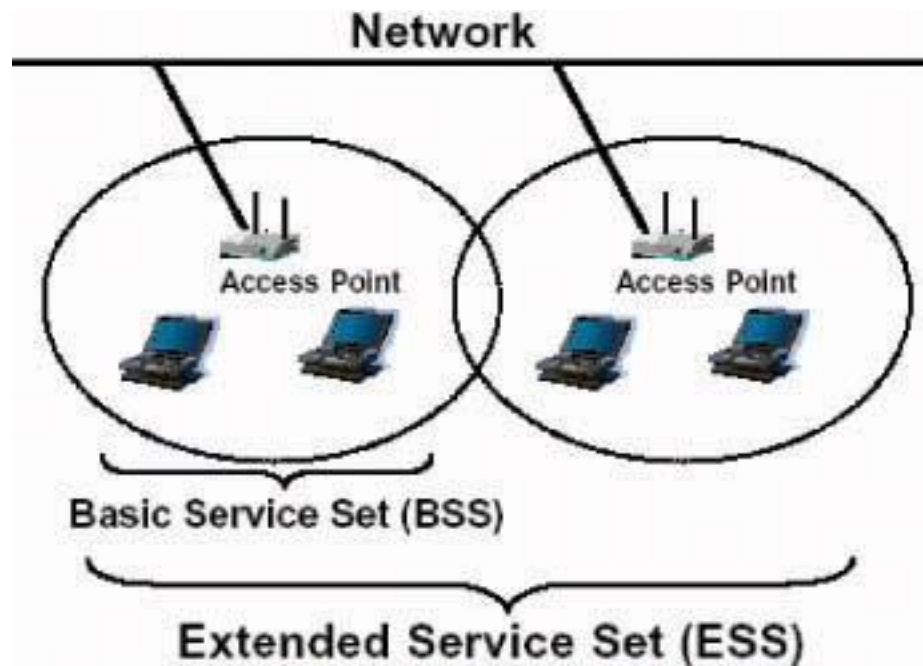
KUVIO 1. IBSS-verkko (Tutorial-reports 2013)

BSS-verkko koostuu kiinteästä tukiasemasta, eli AP:sta (Access Point) ja siihen langattomasti liitetyistä työasemista (KUVIO 2). Työasemat keskustelevat keskenään tukiaseman kautta. (Granlund 2007, 295.)



KUVIO 2. BSS-verkko (Wildpackets 2016)

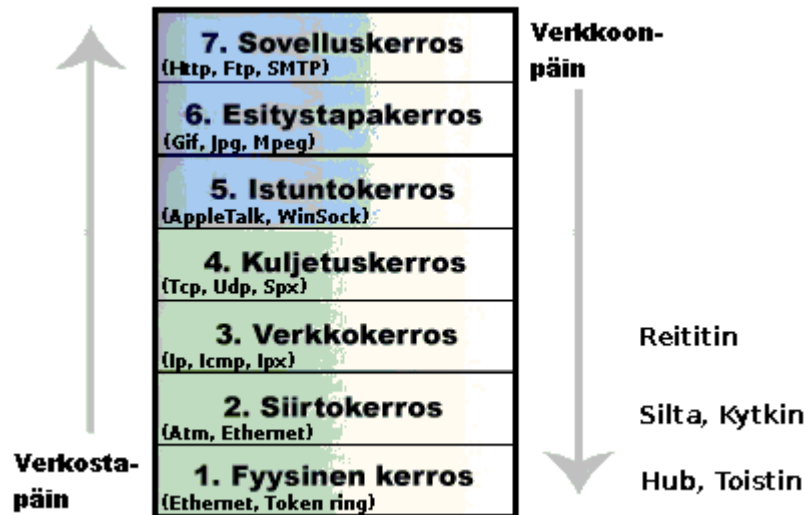
BSS-verkkoa voidaan laajentaa siten, että käytetään useampia tukiasemia, jotka kytketään samaan runkoverkkoon (KUVIO 3). Tästä käytetään nimeä ESS (Extended Service Set) ja tämän runkoverkosta käytetään nimeä DS (Distribution System). ESS on yleisin tapa muodostaa lähiverkkoja. Laitteet voivat siirtyä solusta toiseen, eikä käyttäjä huomaa verkossa tapahtuvia tukiaseman vaihtoja. Tällä ratkaisulla voidaan kattaa isompia alueita, jolloin laitteiden pienistä kantamista ei aiheudu ongelmia. ESS-topologiassa oleva runkoverkko DS mahdollistaa tukiasemien välisen tietoliikenteen, jonka kautta on mahdollista kytkeytyä kiinteään lähiverkkoon. (Granlund 2007, 296.)



KUVIO 3. ESS-verkko (Flylib 2016)

2.3 OSI-malli

ISO (International Standards Organization) asetti vuonna 1977 komitean, jonka tehtävänä oli luoda toimintamalli tietoliikenteelle. Komitean työn tuloksena syntyi OSI (Open Systems Interconnection)-viitemalli, jonka ISO hyväksyi vuonna 1983. Tämä viitemalli loi perustan sille, miten tietokoneita liitetään toisiinsa hajautetuissa tietojärjestelmissä. Tavoitteena oli aikaansaada arkkitehtuuri, jossa tietoliikennejärjestelmä jaettiin kerroksiin. OSI-mallissa on seitsemän kerrosta (KUVIO 4). Kerrosajattelussa jokainen kerros tuottaa palveluja seuraavalle ylemmälle kerrokselle, samalla kun kyseinen kerros käyttää hyväksi kerrosta alempana olevan kerroksen palveluja. (Granlund 2007, 7.)



KUVIO 4. OSI-mallin kerrokset (Krimaka 2016)

2.4 WLAN-standardit

Termiä WLAN käytetään useimmiten tarkoittamaan IEEE 802.11-standardia, vaikka myös ETSI:n (European Telecommunications Standards Institute) HiperLAN-standardi on langaton lähiverkko. Mutta HiperLAN ei kuitenkaan ole saanut niin suurta suosiota kuin IEEE 802.11-standardi. (Wikipedia 2016c.)

Yleisesti sanottuna termeillä WLAN, 802.11 ja Wi-Fi tarkoitetaan samaa asiaa, vaikka nämä eivät olekaan synonyymejä. Wi-fi on kaupallinen nimitys, jota käytetään usein WLAN-tuotteista. Wi-Fi nimitys on Wi-Fi Alliancen tavaramerkki. (Wikipedia 2016c.)

2.4.1 802.11-standardi

802.11-standardi oli ensimmäinen WLAN-tekniikka, jonka IEEE julkaisi 26.7.1997. Standardi määrittää pääasiassa OSI-mallin fyysisen kerroksen ja siirtokerroksen alemman osan, josta käytetään nimeä MAC (Media Access Control) -kerros. Standardi käyttää radiotiellä 2,4 - 2,4835 Ghz:n vapaata ISM (Industrial, Scientific and Medical) -taajuusaluetta ja infrapunatekniikka toimii 850 - 950 nm:n alueella. (Wikipedia 2015b.)

Standardin nopeudet ovat 1 Mbit/s ja 2 Mbit/s. Radiotiellä standardissa on käytössä suorasekvenssihajaspektritekniikka DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ja taajuushyppelyhajaspektritekniikka FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). DSSS-tekniikassa tiedonsiirrossa käytetään Barkerin sarjaa. Standardin määrittelemät verkkotopologiat ovat vertaisverkko (ad hoc) ja tukiasemaan perustuva ratkaisu (infrastructure). (Wikipedia 2015b.)

2.4.2 802.11b-standardi

802.11b-standardi julkaistiin vuonna 1999, kun tarvittiin uusi standardi, koska aikaisempi 802.11 kävi liian hitaaksi kasvaneen verkkojen käytön ja sovellusten kehittymisen takia. Standardista käytetään myös nimeä 802.11hr (high rate). (Wikipedia 2015b.)

Nopeudeksi standardi määrittelee 5,5 Mbit/s ja 11 Mbit/s, joka on aikaisempaa 802.11-standardia huomattavasti nopeampi. Kuten edeltäjänsä, standardi toimii samalla 2,4000 - 2,4835 Ghz:n taajuusalueella, mutta tiedonsiirrossa on käytössä CCK (Complement Code Keying) -tekniikka. Toisena vaihtoehtona siirtotekniikaksi 802.11b-standardissa on PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) -tekniikka. (Wikipedia 2015b.)

2.4.3 802.11a-standardi

Syksyllä 1999 julkaistiin standardi 802.11a, joka toimii 5,000 - 5,875 Ghz:n ISM-alueella. Tekniikaltaan standardi 802.11a poikkeaa standardista 802.11b siten, että standardi perustuu OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) -tekniikkaan, jossa tietoa siirretään lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa. Sillä saatiin nostettua siirtonopeus 54 Mbit:iin/s. (Wikipedia 2015b.)

Korkeamman taajuuden käyttö aiheutti kantaman pientymisen, joka vaikutti siihen, että standardi 802.11a ei saanut niin suurta suosiota kuin 802.11b. Toinen asia, mikä vaikutti suosioon, oli hinnoiltaan kalliimmat laitteet. (Wikipedia 2015b.)

2.4.4 802.11g-standardi

IEEE-työryhmä perusti erillisen tutkimusryhmän vuonna 2000 kehittämään 802.11b-standardin laajennusta. Tutkimustyön tuloksena syntyi vuonna 2003 hyväksytty 802.11g-standardi, joka on risteytys standardeista 802.11a ja 802.11b. (Wikipedia 2015b.)

Standardi tukee 54 Mbit:n/s siirtonopeuksia 2,4 Ghz:n ISM-alueella. Standardissa käytetään CCK-OFDM-tekniikkaa tiedonsiirtoon ja vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös PBCC-tekniikkaa.

Radiotaajuustekniikoiksi 802.11g-standardi määrittää DSSS-, HR- (High Rate) ja OFDM-tekniikat. Standardi on täysin yhteensopiva 802.11b-standardin kanssa. (Wikipedia 2015b.)

2.4.5 802.11n-standardi

Lokakuussa 2009 IEEE julkaisi 802.11n-standardin, jonka tarkoituksena oli parantaa suorituskkyä aikaisempiin standardeihin, kuten 802.11a ja 802.11g, verrattuna. Teoreettinen nopeus standardilla on 600 Mbit/s, mutta todellisuudessa päästään noin 100 - 200 Mbit/s nopeuksiin. (Wikipedia 2015b.)

Standardi käyttää MIMO (Multiple Input Multiple Output) -tekniikkaa, jossa käytetään useampaa antennia ja kanavaa yhtä aikaa. 802.11n-standardi on osittain yhteensopiva aiempien standardien kanssa. Tällöin on käytössä vanhemman standardin mukainen suorituskky. (Wikipedia 2015b.)

2.4.6 802.11ac-standardi

Standardia 802.11ac aloitettiin kehittämään vuonna 2011 ja standardi hyväksyttiin tammikuussa vuonna 2014. Standardi tukee MIMO-tekniikkaa ja mahdollistaa 5 Ghz:n taajuusalueen käytön. (Wikipedia 2016a.)

Standardi mahdollistaa teoriassa 1600 Mbit/s siirtonopeuden sekä kaistanleveydeksi 80 Mhz ja jopa 160 Mhz. Suuren tiedonsiirtonopeuden saamiseksi on mahdollista käyttää jatkuvasti 160 MHz:n kaistanleveyttä ja ei-jatkovaa 80 + 80 MHz:n tilaa, jolla voidaan osittain välttää päällekkäisyyksiä. (Wikipedia 2016a.)

3 LANGATTOMAN LÄHIVERKON KUULUVUUS

Radioaaltojen käyttöä valvoo Suomessa Viestintävirasto. Kansainvälinen radiotaajuuksien sääntely kattaa 9 kHz - 3000 GHz taajuusalueen, mutta radiotaajuuksien käyttö on nykyään mahdollista vain 80 GHz:iin asti. (Viestintävirasto 2015.)

Langattoman lähiverkon käyttämä radiosignaali etenee lähettimestä vastaanottimeen antennien välillä sähkömagneettisena aaltona. Radiosignaali ei käytännössä etene suoraan ja vaimentumatta, vaan etenemiseen vaikuttaa erilaiset tekijät, kuten esteet ja väliaineet. Taajuus ja antennin etäisyys maanpinnasta vaikuttaa myös radioaallon etenemiseen. Antennin ollessa tarpeeksi lähellä maanpintaa yhdistyy teho silloin voimakkaasti maanpinta-aaltoon (MPA) ja signaali etenee pitkin maanpintaa. (Hyrkäs 2015.)

Radiosignaalin tehotason laskemisessa käytetään desibelilukuja (dB), kuten esimerkiksi laskettaessa lähettimen ja vastaanottimen välistä tehosuhdetta. Desibelillä tarkoitetaan kahden signaalin välistä suhdetta toisiinsa. Seuraavalla kaavalla saadaan laskettua kahden tehon välinen suhde desibeleissä (KAAVA 1). (Hyrkäs 2015.)

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (\text{KAAVA 1})$$

Radiotekniikassa käytetään myös yksiköitä dBW (desibeliwatti) ja dBm (desibelimilliwatti). Desibeliwatti tarkoittaa desibelimäärää suhteessa wattiin ja desibelimilliwatti tarkoittaa desibelimäärää suhteessa milliwattiin. Desibelimilliwatilla ilmaistaan signaalin tehoa tai voimakkuutta. Nolla desibelimilliwattia on teholtan 1 mW. Tästä syystä alle 1 mW:n tehoiset signaalit ilmoitetaan negatiivisilla luvuilla. (Cisco System 2013.)

WLAN-verkkoa käyttävien laitteiden vastaanottoherkkyys ilmoitetaan negatiivisina desibelimilliwatteina. Mitä lähempänä nollaa arvo on, sen parempi on vastaanottoherkkyys ja signaali, kun taas mitä matalampi arvo on, sitä heikompi on signaali. (Hyrkäs 2015.)

Radiosignaalin vaimenemisella tarkoitetaan tehon vähenemistä, eli amplitudi pienenee. Amplitudi on signaalin aallon korkeus. Vaimeneminen voi johtua monista eri syistä. Signaalin eri taajuuskomponentit vaimenevat eri tavalla. Matalilla taajuuksilla vaimeneminen on pienempää kuin korkeammilla taajuuksilla. Vaimenemiseen vaikuttaa myös sää, esimerkiksi sumu, vesi- ja lumisade lisää vaimenemista. (Hyrkäs 2015.)

Radiosignaalin vaimenemiseen vaikuttaa myös rakenteiden erilaiset väliaineet, kuten esimerkiksi betoniseinä ja metalli vaimentavat enemmän kuin puuovi tai lasi-ikkuna (TAULUKKO 1). Vaimenemisen johdosta signaalia voi vahvistaa vahvistimilla, mutta taas liian voimakas signaali voi aiheuttaa vääristymiä vastaanottimessa. (Hyrkäs 2015.)

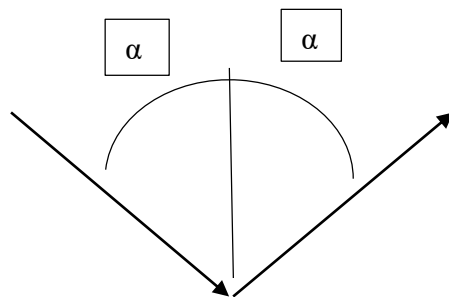
TAULUKKO 1. Radiosignaalin vaimeneminen eri väliaineissa 2,4 GHz:n taajuudella

Väliaine	Vaimeneminen (2,4 GHz)
Tiili/betoniseinä	-15 dB
Metalliovi	-13 dB
Hissi, metallieste	-10 dB
Metalliritilä	-6 dB
Kipsilevy	-3 dB
Väritön lasi-ikkuna tai -ovi	-3 dB
Puuovi	-3 dB
Toimistosermi	-2 dB

FSL (Free Space Loss) eli vapaan tilan vaimennus tarkoittaa ilmakehän aiheuttamaa vaimennusta ilman maastoesteitä. Tämä tarkoittaa, että on suora näköyhteys LOS (Line Of Sight). FSL saadaan laskettua kaavasta (KAAVA 2). Kaavalla saadaan laskettua vaimennus näköyhteys linkeille. Mutta on kuitenkin huomioitava, ettei ympäristössä ole häiriötekijöitä ja että sää on hyvä. (Hyrkäs 2015.)

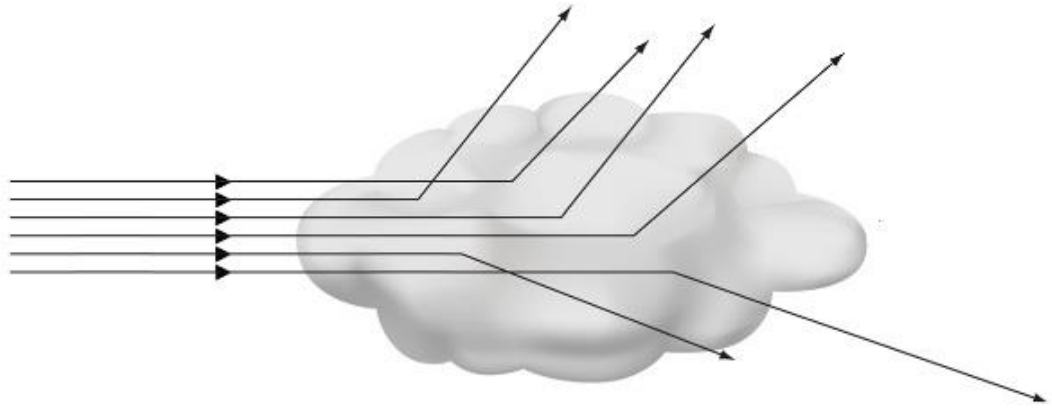
$$FSL_{dB} = 32,45 + 20\log[f/MHz] + 20\log[d/km] \quad (\text{KAAVA 2})$$

Radiosignaalin heijastumisella tarkoitetaan sitä, kun radioaallot heijastuvat osuessaan esteeseen, joka on tasainen suhteessa signaalin aallonpituuteen (KUVIO 5). Heijastuneet aallot lähtevät samassa kulmassa kuin tulokulma on ja aallonpituus ja etenemisnopeus pysyvät samana kuin tullessa. (Hyrkäs 2015.)



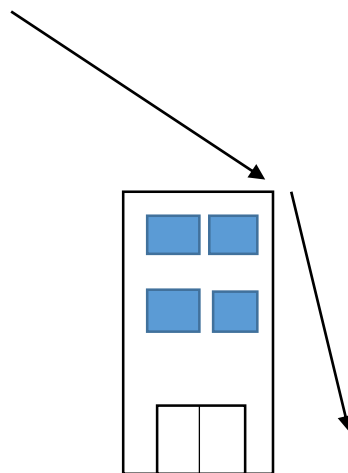
KUVIO 5. Signaalin heijastuminen

Radiosignaalin osuessa epätasaiseen esteeseen tai pintaan tapahtuu sirontaa, jolloin syntyy uusia radioaaltoja eri suuntiin. Esimerkiksi törmäys sadepilveen aiheuttaa tämän (KUVIO 6). Sironta heikentää etenevää signaalia. (Hyrkäs 2015.)



KUVIO 6. Signaalin sironta (Bitlanders 2014)

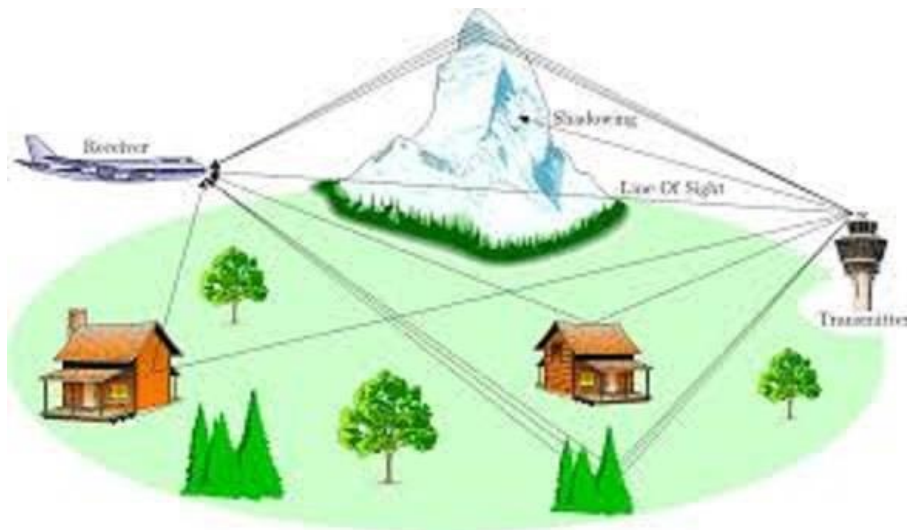
Signaalin taipuminen tapahtuu silloin, kun radioaallot osuvat kiinteisiin esteisiin, kuten huonosti läpäiseviin materiaaleihin tai rakennuksiin (KUVIO 7). Signaalin vaimentuminen riippuu tässä tapauksessa esteen läpäisyominaisuuksista. (Hyrkäs 2015.)



KUVIO 7. Signaalin taipuminen

Signaalin monitie-etenemisellä tarkoitetaan sitä, kun radiosignaalin reitillä on erilaisia esteitä, jotka aiheuttavat heijastumista, taipumista ja sirontaa (KUVIO 8). Radiosignaalin monitie-eteneminen aiheuttaa ongelmia tiedonsiirrossa, kuten esimerkiksi signaalin energiasta häviää osa heijastuksen yhteydessä, heijastumat summautuvat toisiinsa, jolloin vastaanottopäässä signaalin tulkinta vaikeutuu tai heijastuva signaali ei tule oikeaan aikaan perille. (Hyrkäs 2015.)

Monitie-etenemisestä johtuvat ongelmat vaikuttavat eri lailla eri tekniikoissa. GSM-tekniikassa käytetään viiveitä monitie-etenemisessä, kun taas 802.11-standardien a, b, ja g käyttämälle OFDM-modulaatiolle monitie-eteneminen ei tuota ongelmia. 802.11n-versio taas puolestaan käyttää monitie-etenemistä edukseen. (Hyrkäs 2015.)



KUVIO 8. Monitie-eteneminen (Seifi 2011)

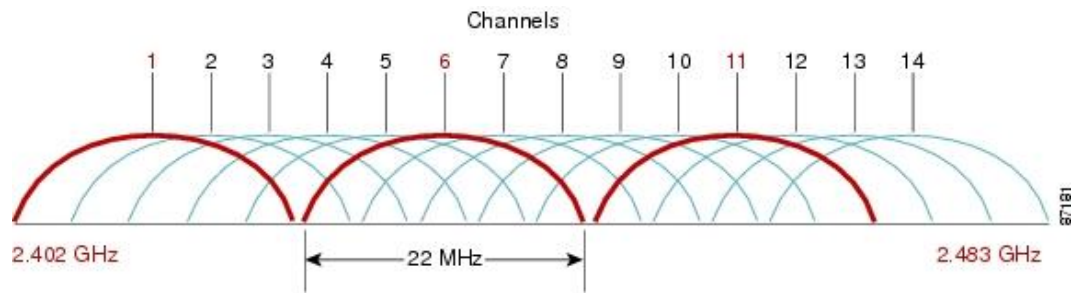
4 RADIOKANAVAT

2,4 GHz:n taajuusalue on jaettu 14 kanavaan, joita pitkin liikennöinti tapahtuu WLAN-verkossa (TAULUKKO 2). Kanavat 1 - 11 ovat käytössä Pohjois-Amerikassa, kanavia 1 - 13 käytetään Euroopassa ja Japanissa käytetään kaikkia 14:ää kanavaa. Kanava 14 on käytössä ainoastaan Japanissa, mutta sitä saa ainoastaan käyttää standardin 802.11b mukaisesti. Euroopassa kanavan 14 käyttö on kielletty. (Wikipedia 2016b.)

TAULUKKO 2. 2,4 GHz:n taajuusalueen kanavat

Kanava	Taajuus (MHz)	Pohjois Amerikka	Japani	Eurooppa
1	2412	x	x	x
2	2417	x	x	x
3	2422	x	x	x
4	2427	x	x	x
5	2432	x	x	x
6	2437	x	x	x
7	2442	x	x	x
8	2447	x	x	x
9	2452	x	x	x
10	2457	x	x	x
11	2462	x	x	x
12	2467		x	x
13	2472		x	x
14	2484		x	

Kanavat ovat leveydeltään 22 MHz, ja ne ovat 5 MHz:n välein toisistaan paitsi kanavien 13 ja 14 väli on muista poiketen 12 MHz. Kanavat menevät osittain päällekkäin, ja siksi olisi hyvä, että tukiasemissa käytettäisiin kanavia, jotka eivät olisi päällekkäin tai aivan vierekkäin (KUVIO 9, TAULUKKO 3). Näin vähennetään häiriöiden riskiä, ja näin ollen suorituskyky pysyy myös parempana. (Wikipedia 2016b.)



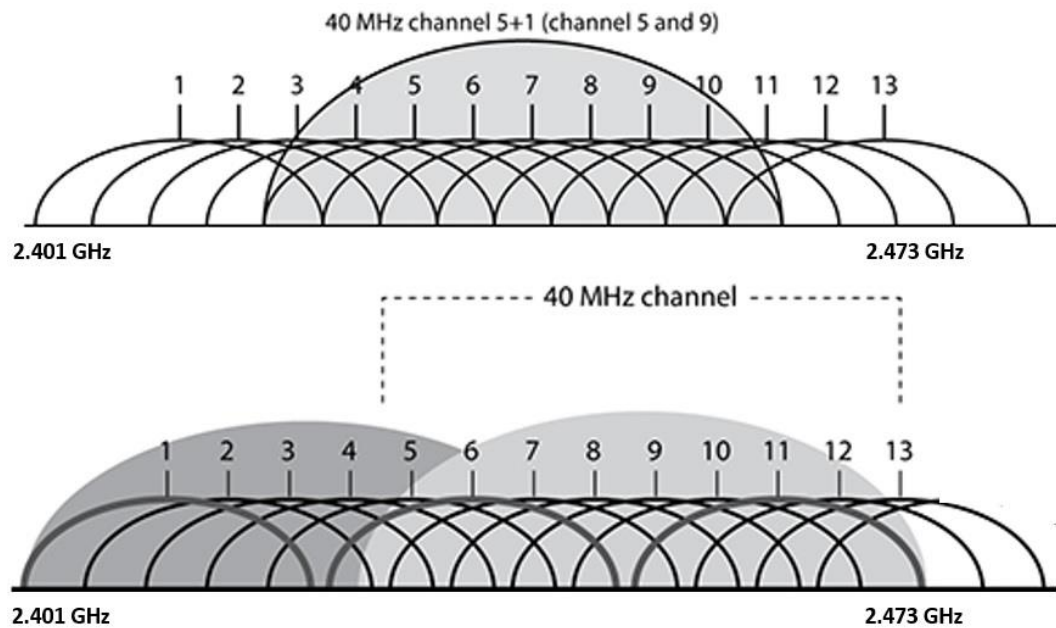
KUVIO 9. 2,4 GHz:n kanavajako (Cisco 2016)

TAULUKKO 3. 2,4 GHz:n kanavien päällekkäisyydet

Taajuusalue (MHz)	Numero	Päällekkäin
2401 - 2423	1	2 3 4 5
2406 - 2428	2	1 3 4 5 6
2411 - 2433	3	1 2 4 5 6 7
2416 - 2438	4	1 2 3 5 6 7 8
2421 - 2443	5	1 2 3 4 6 7 8 9
2426 - 2448	6	2 3 4 5 7 8 9 10
2431 - 2453	7	3 4 5 6 8 9 10 11
2436 - 2458	8	4 5 6 7 9 10 11 12
2441 - 2463	9	5 6 7 8 10 11 12 13
2446 - 2468	10	6 7 8 9 11 12 13
2451 - 2473	11	7 8 9 10 12 13
2456 - 2478	12	8 9 10 11 13
2461 - 2483	13	9 10 11 12
2473 - 2495	14	11 12 13

Kanavia valittaessa on otettava huomioon, että on aina käytettävissä vain kolme kanavaa, jotka eivät ole päällekkäin. Kanavat 1, 6, 11 tai 2, 7, 12 tai 3, 8, 13 eivät häiritse toisiaan. Jos kanava 14 on sallittu, niin myös kanavat 4, 9, 14 tai 5, 10, 14 eivät ole päällekkäin. Useimmiten langattomat reitittimet on asetettu oletuksena kanavalle kuusi, minkä takia kanavajoukko 1, 6, 11 on ehkä yleisemmin käytetty. (Radio-Electronics 2016.)

Käytettäessä suurempaa kaistanleveyttä, kuten esimerkiksi 40 MHz:ä, jota on mahdollista käyttää IEEE 802.11n-standardin mukaisessa tekniikassa, niin silloin saadaan suurempi tiedonsiirtonopeus. Tämä kuitenkin vähentää kanavien lukumäärän, jota voidaan käyttää (KUVIO 10). (Radio-Electronics 2016.)



KUVIO 10. Kanavajako 40 MHz:n kaistanleveydellä (Networkcomputing 2016)

WLAN-tekniikassa on käytössä myös 5 GHz:n taajuusalue, joka on jaettu 24:ään eri kanavaan (TAULUKKO 4). Euroopassa on käytössä näistä 19 kanavaa WLAN-käyttöön, joista 8 ensimmäistä on tarkoitettu vain sisäkäyttöön ja loput 11 kanavaa on tarkoitettu ulko- ja sisäkäyttöön. Viimeiset viisi kanavaa on tarkoitettu lyhyen kantaman radiolaitteille, kuten esimerkiksi kaukosäätimille tai langattomille mikrofoneille. (Radio-Electronics 2016.)

Kanavat ovat kolmessa eri ryhmässä, ja kanavanumerot ovat neljän välein toisistaan. Sisätilaan tarkoitetut kanavat ovat 36 - 64, ulko- ja sisäkäyttöön tarkoitetut kanavat ovat 100 - 140 ja lyhyen kantaman radiolaitteille kanavat 149 - 165. Kanavat ovat leveydeltään 20 MHz. (Radio-Electronics 2016.)

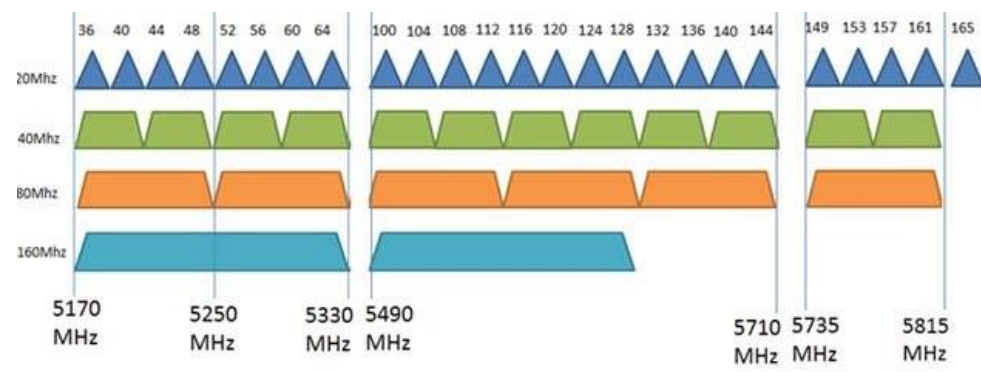
Nopeudestaan ja häiriöttömyydestään huolimatta 5 GHz:n taajuusalue on vähemmän käytetty kuin 2,4 GHz:n taajuusalue. Syynä tähän on se, että kuuluvuusalue on pienempi, mikä johtuu korkeamman taajuuden huonosta materiaalin läpäisykyvystä. Tällöin signaali vaimenee nopeammin kuin matalataajuisempi signaali. (Netgear 2016.)

TAULUKKO 4. 5 GHz:n kanavat ja niiden taajuudet

Kanava numero	Taajuusalue (MHz)	Rajoitukset
36	5170 - 5190	vain sisätiloissa
40	5190 - 5210	vain sisätiloissa
44	5210 - 5230	vain sisätiloissa
48	5230 - 5250	vain sisätiloissa
52	5250 - 5270	vain sisätiloissa
56	5270 - 5290	vain sisätiloissa
60	5290 - 5310	vain sisätiloissa
64	5310 - 5330	vain sisätiloissa
100	5490 - 5510	
104	5510 - 5530	
108	5530 - 5550	
112	5550 - 5570	
116	5570 - 5590	
120	5590 - 5610	
124	5610 - 5630	
128	5630 - 5650	
132	5650 - 5670	
136	5670 - 5690	
140	5690 - 5710	
149	5735 - 5755	SRD*
153	5755 - 5775	SRD*
157	5775 - 5795	SRD*
161	5795 - 5815	SRD*
165	5815 - 5835	SRD*

*SRD = Short Range Device eli lyhyen kantaman radiolaite

Tukiasemia voi olla 5 GHz:n taajuusalueella häiriöttömästi 12 kappaletta käytettäessä 20 MHz:n kaistanleveyttä. Jos käytetään 40 MHz:n kaistanleveyttä, niin tukiasemia voi olla kuusi kappaletta häiriöttömästi. Kaistanleveyden ollessa 80 MHz:ä voi olla häiriöttömästi enää 3 tukiasemaa (KUVIO 11). (Netgear 2016.)



KUVIO 11. 5 GHz:n taajuusalueen kaistanleveydet (Netgear 2016)

5 ANTENNIT

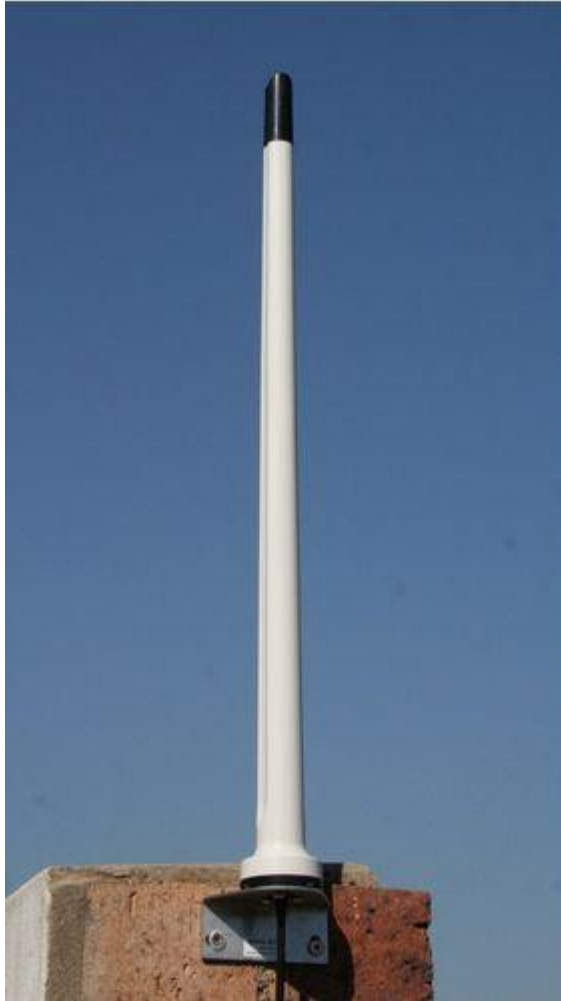
Antenneilla lähetetään ja vastaanotetaan radioaaltoja. Antenni on radiolaitteiston osa, jonka tehtävänä on siirtää dataa mahdollisimman tehokkaasti vapaaseen tilaan tai vapaasta tilasta vastaanottimelle.

Antennit ovat resiprookkisia, eli niiden ominaisuudet ovat samanlaiset lähetyksessä ja vastaanotossa. (Hyrkäs 2015.)

Antennityyppejä on monia erilaisia, ja niiden rakenne vaihtelee paljon käyttötarkoituksesta ja taajuudesta johtuen. Antennit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: ympärisäteileviin antenneihin ja suunta-antenneihin. Suunta-antenneihin kuuluu muun muassa yagi-antenni, joka voidaan suunnata tiettyyn kohteeseen (KUVIO 12). Ympärisäteileviä antennoja ovat esimerkiksi piiska-antennit, jotka ottavat vastaan radioaaltoja monista eri suunnista samanaikaisesti (KUVIO 13). (Hyrkäs 2015.)



KUVIO 12. Suunta-antenni, yagi-antenni (Wimo 2016)

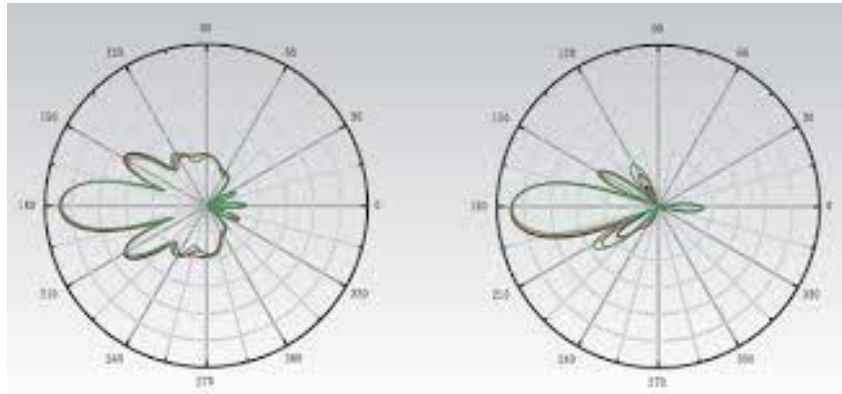


KUVIO 13. Ympärisäteilevä antenni, piiska-antenni (Youtube 2010)

Antenneilla on tiettyjä sähköisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat valittaessa antennia tiettyyn käyttötarkoitukseen. Niitä ovat muun muassa vahvistus, säteilykuvio, polarisaatio, keilan leveys, kaistanleveys, resonanssitaajuus ja suuntaavuus. (Hyrkäs 2015.)

Antennivahvistuksella tarkoitetaan suuntaavuuden parantamista, jolla saadaan RF-teho kohoamaan verrattuna vertailutehoon. Vertailutehona käytetään antennin itsensä ympärilleen säteilemää tehon keskiarvoa, eli suuntavahvistusta. Toisin sanoen mitä kapeammaksi keilan leveys menee, sitä suurempi on antennivahvistus, ja muista suunnista saatava teho pienenee. (Hyrkäs 2015.)

Säteilykuvio kertoo, mihin suuntaan antenni säteilee ja kuinka paljon. Säteilykuvion muotoon voidaan vaikuttaa antennityypin valinnalla ja antennin korkeudella maasta. Säteilykuvio koostuu pääkeilasta, joka sisältää maksimisäteilyn suunnan ja sivukeiloista, jotka ovat säteilyteholtaan pienempiä kuin pääkeila (KUVIO 14). (Wikipedia 2015a.)

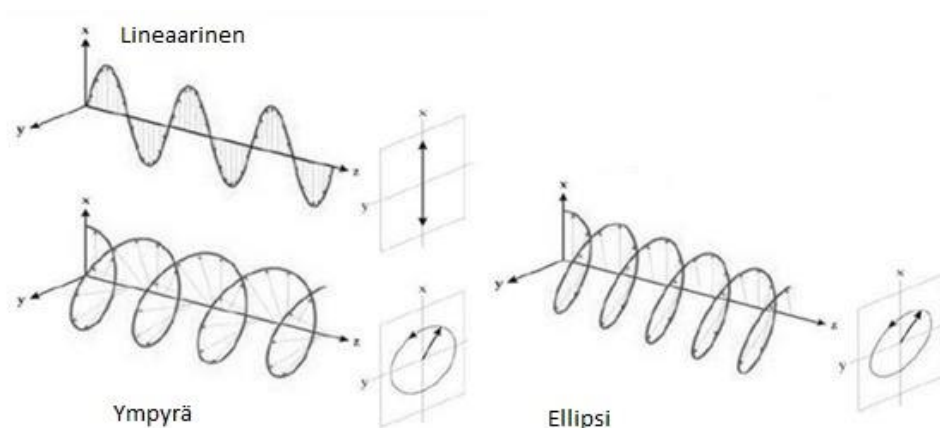


KUVIO 14. Ympärisäteilevän piiska-antennin säteilykuvio vaaka- ja pystysuunnassa (Notesco 2016)

Polarisaatiolla tarkoitetaan sähkömagneettisen kentän sähkökentän suuntaa vertailutasoon nähden. Yleensä sitä verrataan maatasoon nähden. Antennit vastaanottavat parhaiten samansuuntaisesti polarisoituja signaaleja. Polarisaatio on yleisesti elliptinen. Elliptisen polarisaation erikoistapauksia ovat lineaarinen polarisaatio ja ympyräpolarisaatio (KUVIO 15). (Mtiwe 2016.)

Lineaarisessa polarisaatiossa sähkökenttä on joko pystysuunnassa, jolloin puhutaan pystypolarisaatiosta, tai vaakasuunnassa, jolloin puhutaan vaakapolarisaatiosta. Antennin suunta yleensä ilmaisee, mitä polarisaatiota antenni käyttää. Vaakatasossa oleva antenni käyttää vaakapolarisaatiota ja pystysuunnassa oleva antenni käyttää pystypolarisaatiota. (Mtiwe 2016.)

Ympyräpolarisaatio taas puolestaan on sellainen, jossa läheteessä sähkökentän voimakkuusvektori kiertää ympyrää edetessä antennista eteenpäin. Kiertosuunta voi olla joko myötäpäivään tai vastapäivään. Jos antennin polarisaatio on eri kuin vastaanotettavan signaalin, niin syntyy epäsovitusta, jota kuvataan polarisaatiohyötysuhteella. (Mtiwe 2016.)



KUVIO 15. Lineaarinen-, ympyrä- ja ellipsipolarisaatio (Mtiwe 2016)

Antennin kaistanleveydellä tarkoitetaan taajuuskaistaa, joka muodostuu keskitaajuuden molemmille puolille. Tällöin sovitus, vahvistus, keilanleveys, polarisaatio tai jokin muu suure ovat sallittujen rajojen sisällä verrattuna keskitaajuudella mitattaviin arvoihin.

Antennin suuntaavuus ilmaisee, miten paljon antenni säteilee maksiminsa suuntaan. Yleensä sitä verrataan isotrooppiseen antenniin, jonka yksikkö on dBi. Isotrooppinen antenni tarkoittaa ideaalista antennia, joka säteilee siihen syötettävää tehoa yhtä paljon joka suuntaan. Sitä käytetään teoreettisissa laskelmissa, mutta käytännössä sellaista ei pystytäkään rakentamaan. Antennin suuntaavuutta voidaan verrata myös puolialtodialiin, josta käytetään yksikkönä dBd. 0 dBd vastaa 2,15 dBi:tä. (Slideplayer 2015.)

6 LANGATTOMAN LÄHIVERKON SUUNNITTELU

6.1 Verkon suunnittelun alkutilanne

Tämä työ tehdään Lahden ammattikorkeakoululle, joka vastaa Mastonet-verkon ylläpidosta. Työn tavoitteena on suunnitella Lahdessa toimivan Mastonet-verkon laajennus helmikuussa 2016 avatun Matkakeskuksen alueelle. Alue toimii joukkoliikenteen keskuksena, jossa on yhdistetty juna- ja linja-autoliikenne. Tämän takia alueella liikkuu paljon ihmisiä. Verkon laajennustarve on tärkeä esimerkiksi niille, jotka odottavat työmatkalla junaa tai linja-autoa ja haluavat odotellessa tehdä työtehtäviä verkossa, vaikka kannettavalla tietokoneella.

Mastonet-verkko on käyttäjilleen ilmainen Lahden kaupungin tarjoama avoin langaton lähiverkko. Mastonet on Suomen toiseksi suurin avoin langaton verkko Oulussa toimivan panOulu-verkon jälkeen. Verkko on tarkoitettu kaupungin asukkaille ja kaupungissa vieraileville käyttäjille. Mastonet on toiminnassa julkisilla paikoilla, siellä missä ihmiset paljon liikkuvat, kuten esimerkiksi kirjastossa ja Sibeliustalolla.

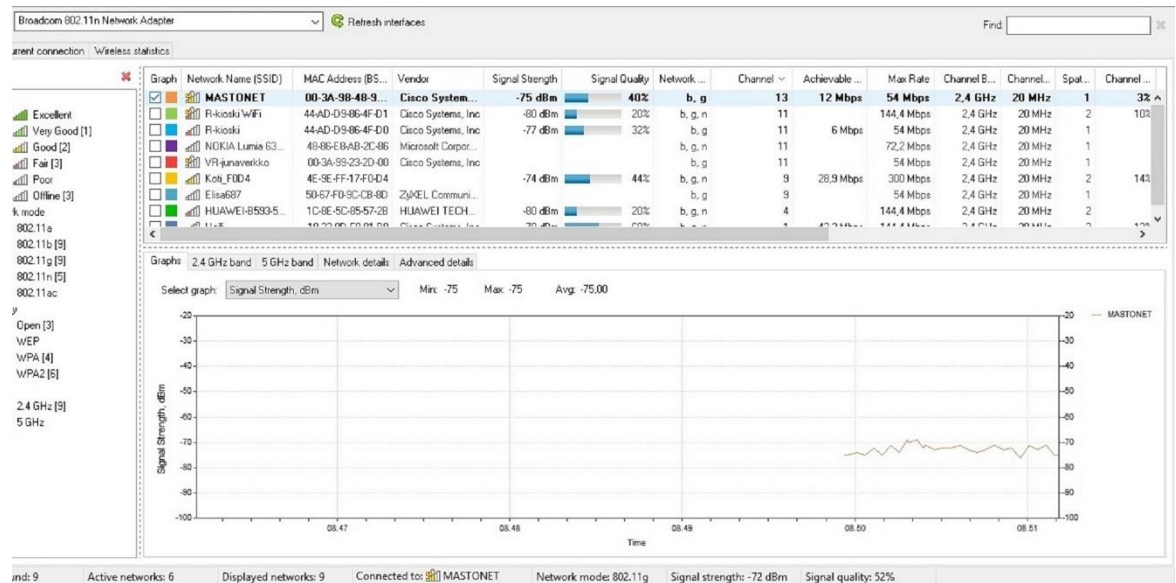
Matkakeskukseen suunniteltavan Mastonet-verkon laajennuksen alkutilannetta alettiin tutkia kanavamittauksella. Mittauksen tarkoituksena oli saada selville, mitä kanavia on käytössä ja mitkä kanavat ovat vähiten käytössä Matkakeskuksen alueella (KUVIO 16). Alueella mittaukset otettiin kahdeksasta eri kohdasta: asemarakennuksen sisältä kahdesta eri paikasta, lähtölaitureilta ja viideltä eri pysäkiltä. Mittaukset suoritettiin Wi-fi Scanner 3.0-ohjelmalla.

Alueelta valittiin kiintopiste etäisyyksien mittaamiseksi, jotta olisi helpompi mitoittaa kartan mittakaava eri pysäkkien etäisyyksien selvittämiseksi, esimerkiksi kun valitaan vaikka tukiaseman paikkaa. Kiintopisteeksi valittiin asemarakennuksen ulko-ovi. Etäisyysmittaukset tehtiin Bushnell 500 yardage pro -laseretäisyysmittarilla.



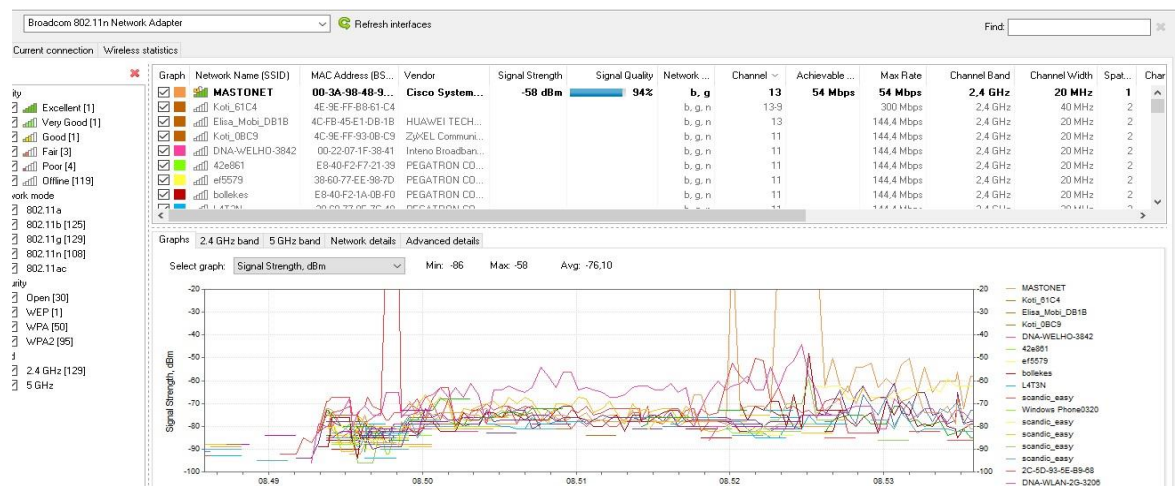
KUVIO 16. Matkakeskuksen opaskartta (Lahti Region 2016)

Rautatieaseman kahvila oli mittauksen aloituskohtana. Mittauksessa löytyi 9 eri yhteyttä, jotka toimivat 2,4 GHz:n taajuudella. Kanavista oli käytössä kanavat 1, 4, 9, 11 ja 13 (KUVIO 17). Mittauksessa löytyi myös Mastonet-verkko, joka käytti kanavaa 13 ja jonka signaalivoimakkuus oli -75 dBm. Kanava 11 oli eniten käytössä.



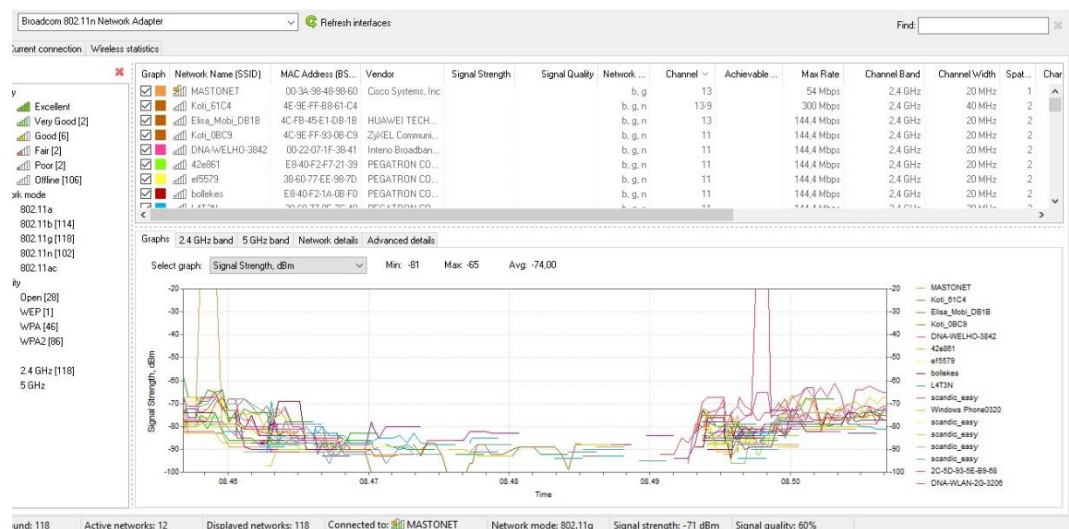
KUVIO 17. Kanavamittaus, rautatieaseman kahvila

Siirryttäessä rautatieaseman odotustilaan mittauksessa löytyi 10 yhteyttä. Yhteydet toimivat 2,4 GHz:n taajuudella. Kanavista käytössä oli kanavat 11 ja 13. Mastonet-verkon signaalin voimakkuus oli -58 dBm, joka oli paras mittaustulos verrattuna muihin mittauspaikkoihin. Tulokseen vaikutti se, että odotustilassa sijaitsi ennestään yksi Mastonet-verkon tukiasema. Tämä mittaustulos vaikutti päätökseen, että rautatieaseman sisätilaan ei tarvita tukiasemaa. (KUVIO 18).



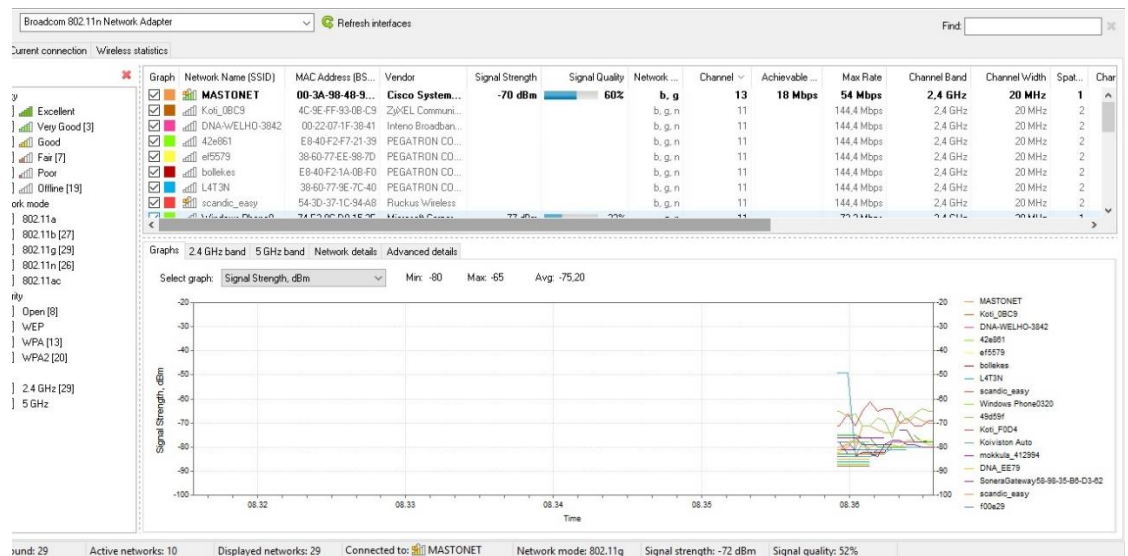
KUVIO 18. Kanavamittaus, rautatieaseman odotustila

Lähtölaitureilla mittaus suoritettiin noin laitureiden puolestavälistä, josta mitattiin matkaa olevan kiintopisteelle 19 metriä. Aktiivisia yhteyksiä oli 12, ja ne toimivat 2,4 GHz:n taajuudella. Kanavat 9, 11 ja 13 olivat käytössä (KUVIO 19). Eniten oli käytössä 11 kanava. Tässä kohdassa Mastonet-verkon signaalia ei ollut ollenkaan.



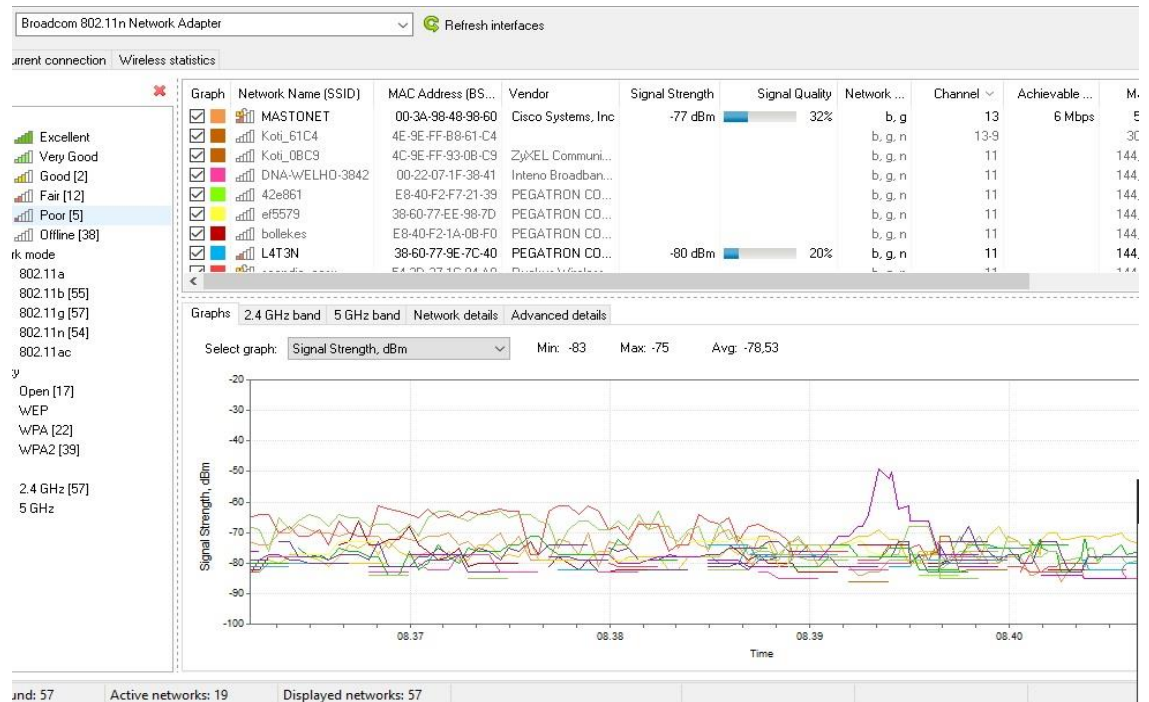
KUVIO 19. Kanavamittaus, lähtölaiturit

Seuraava mittaus tehtiin pysäkillä D, joka oli 51,8 metrin päässä asemarakennuksesta. Yhteyksien määrä oli tässä pisteessä 10 ja kanavista oli käytössä 11 ja 13. Kanava 13 oli Mastonet-verkon käytössä, ja loput 9 yhteyttä oli kanavalla 11. Mastonet-verkon signaalin vahvuudeksi saatiin tässä mittauksessa -70 dBm (KUVIO 20).



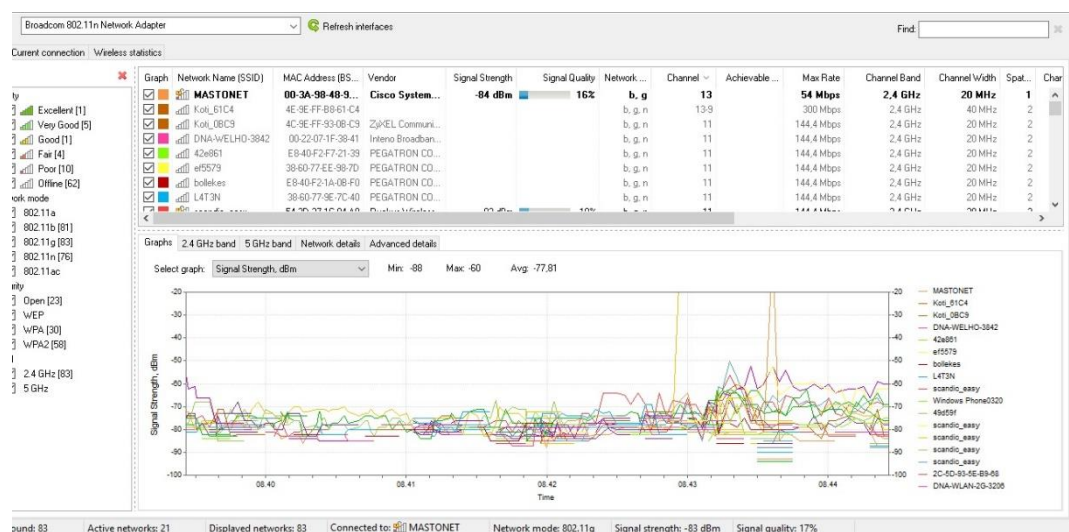
KUVIO 20. Kanavamittaus, D-pysäkki

Asemarakennuksesta 80 metrin päässä olevalla C-pysäkillä Mastonet-verkon signaalin voimakkuus oli pudonnut -77 dBm:ään. Yhteyksiä löytyi 19 kappaletta. Käytössä olivat kanavat 9, 11 ja 13. Tässäkin paikassa eniten käytetty kanava oli 11 (KUVIO 21).



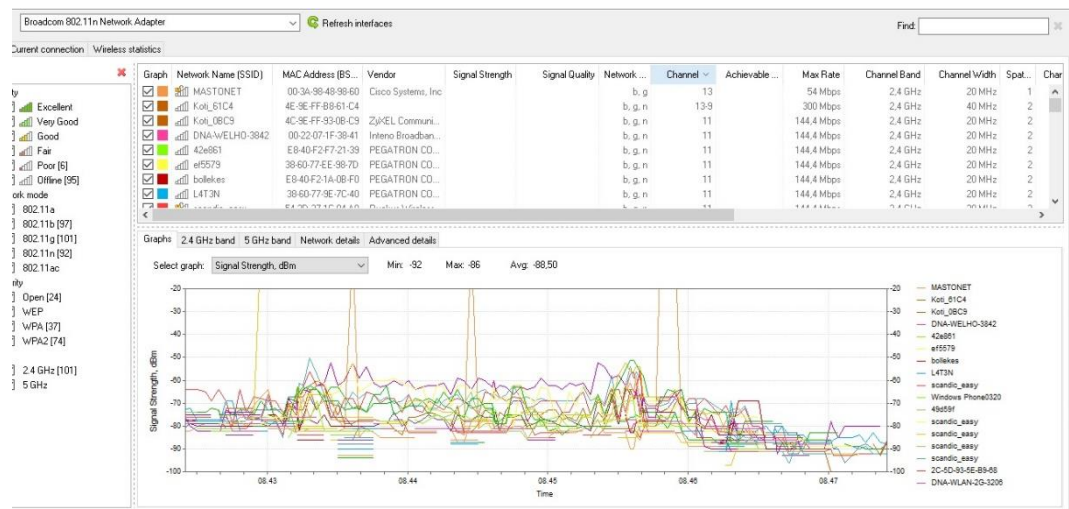
KUVIO 21. Kanavamittaus, C-pysäkki

B-pysäkki oli kaukaisin mittauspisteistä. Siitä oli matkaa 138 metriä asemarakennukselle. Tässä mittauspaikassa oli 21 aktiivista yhteyttä. Samat kanavat, 9, 11 ja 13, olivat käytössä kuin edellisessäkin mittauspaikassa. Mastonet-verkon signaali oli heikentynyt entisestään -80 dBm:ään (KUVIO 22).



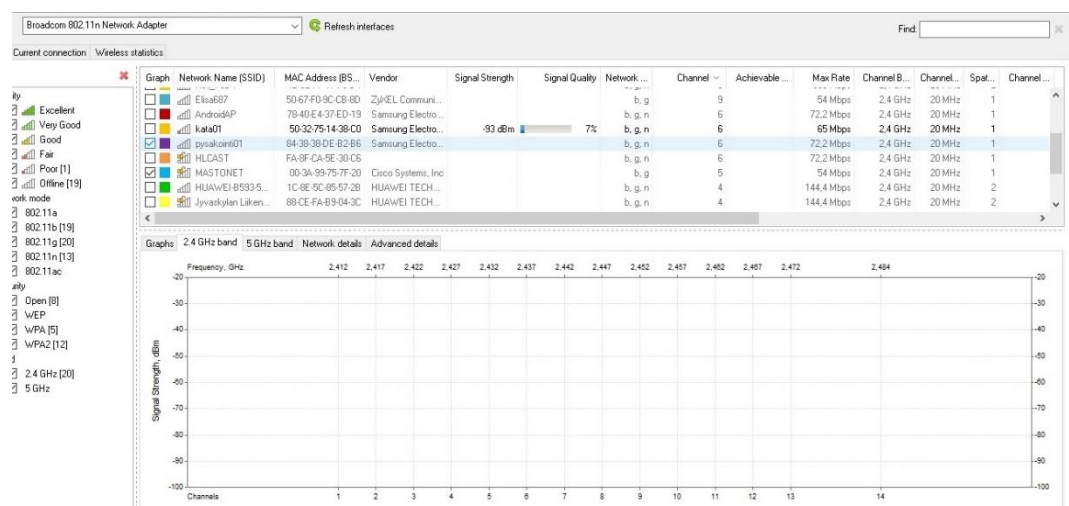
KUVIO 22. Kanavamittaus, B-pysäkki

A-pysäkki sijaitti vain 79,4 metrin päässä asemarakennuksesta, mutta sijainti oli maantiesillan alla, joten signaaleja ei löytynyt ollenkaan (KUVIO 23).



KUVIO 23. Kanavamittaust, A-pysäkki

E-pysäkin mittausta paikasta ei löytynyt kuin yksi heikko signaali, joka oli -93 dBm. Yhteys käytti kanavaa 6. Mastonet-verkon signaalia ei ollut ollenkaan. Sijainti oli 63,3 metriä kiintopisteestä (KUVIO 24).



KUVIO 24. Kanavamittaust, E-pysäkki

6.2 Langattoman lähiverkon suunnitelma Matkakeskukseen

Suunnittelu aloitettiin tukiasemasuunnittelulla, jossa tukiasemille katsottiin sopivia paikkoja, joista niiden kuuluvuusalue riittäisi kattamaan alueen eri pysäkit ja linja-autolaiturit. Samalla valittiin ulkokäyttöön sopiva tukiasemamalli Cisco Aironet 1572EAC (KUVIO 25).



KUVIO 25. Cisco Aironet 1572EAC -tukiasema (Cisco 2015)

Tukiaseman valintaan vaikuttivat vaatimukset, joiden mukaan tukiaseman piti olla ulkokäyttöön sopiva Ciscon tukiasema ja sen piti tukea IEEE 802.11ac-standardia. Valintaa helpotti se, että Cisco Aironet 1572EAC oli ainut ulkokäyttöön sopiva tukiasema, joka tukee 802.11ac-standardia.

Peittoaluetta lähdettiin mitoittamaan vapaan tilan vaimennuksen kaavalla, johon valittiin maksimivaimennukseksi 70 dB. Käytettävät kanavat valittiin jokaiselle tukiasemalle niin, että päällekkäisiä kanavia ei syntyisi.

Kanavaryhmäksi valittiin 2,4 GHz:n alueelle 3, 8, 13, jota käytettiin, koska kanavaryhmä 1, 6 ja 11 oli paljon käytetty ja ryhmän 2, 7, 12 kanavat olisivat olleet taas hyvin lähekkäin jo käytössä olleiden kanavien kanssa. 5 GHz:n taajuusalueen kanavavalinnoilla ei ollut mitään väliä, koska alueella ei ollut yhtään 5 GHz:n yhteyttä, joten kanavat tälle alueelle

valittiin sattumanvaraisesti. Ensimmäisen tukiaseman paikaksi valittiin D-pysäkki, jossa käytettäväksi kanavaksi valittiin kanava kolme, koska se ei osunut ennestään siellä olevien kanavien kanssa päällekkäin eikä viereen. Taajuutena kaavassa käytettiin kanavan kolme keskitaajuutta, joka oli 2422 MHz. Etäisyys saatiin ratkaisemalla näillä tiedoilla kaavasta d (KAAVA 3). Tulokseksi saatiin 31,1 metriä.

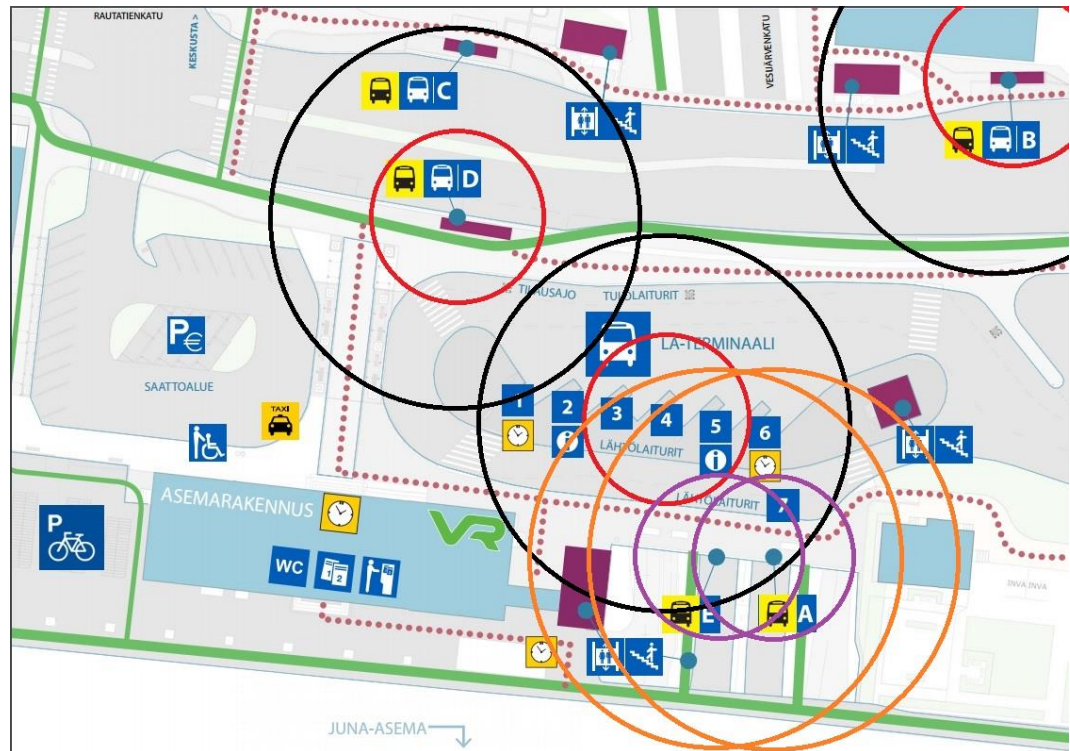
$$FSL_{dB} = 32,45 + 20 \log(f / MHz) + 20 \log(d / Km) \quad (\text{KAAVA 3})$$

$$70 \text{ dB} = 32,45 + 20 \log(2422 \text{ MHz}) + 20 \log(d / Km)$$

$$d = \frac{\left(\frac{1}{10}\right)^{\left(\frac{32,45}{20}\right)} * 10^{\left(\frac{70 \text{ dB}}{20}\right)}}{2422 \text{ MHz}}$$

$$d = 0,0311 \text{ Km} \approx 31 \text{ m}$$

Peittoalueet merkittiin Matkakeskuksen opaskarttaan erivärisillä ympyröillä (KUVIO 26). Mustan ympyrän reunassa on 70 dB:n vaimennus 2,4 GHz:n taajuusalueella. Punaisen ympyrän reuna taas näyttää 70 dB:n vaimennuksen 5 GHz:n taajuusalueella. Oranssit ympyrät ovat myös 70 dB:n vaimennuksella 2,4 GHz:n alueella ja violetit samalla vaimennuksella 5 GHz:n alueella. Eri värejä käytettiin, koska E- ja A-pysäkki sijaitsevat maantiesillan alla, ja näin ollen on helpompi hahmottaa, mitkä tukiasemat ovat samalla tasolla.



KUVIO 26. Tukiasemien paikat

5 GHz:n taajuusalueelle saatiin laskettua samalla kaavalla 70 dB:n vaimennuksella etäisyys (KAAVA 4). Kanavaksi valittiin kanava 100, jonka keskitaajuus on 5500 MHz. Ratkaisemalla d saatiin tulokseksi 13,7 metriä. Tuloksesta nähdään, kuinka paljon enemmän 5 GHz:n taajuus vaimenee.

$$FSL_{dB} = 32,45 + 20 \log(f/MHz) + 20 \log(d/Km) \quad (\text{KAAVA 4})$$

$$70 \text{ dB} = 32,45 + 20 \log(5500 \text{ MHz}) + 20 \log(d/Km)$$

$$d = \frac{\left(\frac{1}{10}\right)^{\left(\frac{32,45}{20}\right)} * 10^{\left(\frac{70 \text{ dB}}{20}\right)}}{5500 \text{ MHz}}$$

$$d = 0,0137 \text{ Km} \approx 13,7 \text{ m}$$

Haluttiin vielä tietää, kuinka paljon 5 GHz:n taajuudella vaimennus olisi mustan ympyrän reunassa. Etäisyys oli 31,1 metriä, joka sijoitettiin kaavaan (KAAVA 5). Tulokseksi saatiin 77,11 dB vaimennusta. Signaalin voimakkuus ei enää C-pysäkillä ole kovin hyvä 5 GHz:n taajuusalueella, mutta tähän tyydyttiin, koska yritettiin pienentää kustannusten määrää ja kuitenkin 2,4 GHz:n taajuusalue kattoi vielä hyvin C-pysäkin.

$$FSL_{dB} = 32,45 + 20 \log(f / MHz) + 20 \log(d / Km) \quad (\text{KAAVA 5})$$

$$FSL_{dB} = 32,45 + 20 \log(5500 \text{ MHz}) + 20 \log(0,0311 \text{ Km})$$

$$FSL_{dB} = 77,11 \text{ dB}$$

Seuraavaksi tukiasemapaikaksi valittiin lähtölaituri numero neljä, joka oli keskimäinen lähtölaitureista. Kanaviksi tässä tukiasemassa valittiin käytettäväksi 2,4 GHz:n alueella kanavaa 13, koska siellä ei ollut yhtään signaalia ja kanavaa 8 tultaisiin käyttämään B-pysäkillä, koska siellä oli ennestään Mastonetillä kanava 13 käytössä. 5 GHz:n alueella valittiin käytettäväksi kanavaa 120. Kanavan 13 keskitaajuus on 2472 MHz, jolloin saatiin laskettua, että 70 dB:n vaimennus on 30,5 metrin päässä tukiasemasta 2,4 GHz:n alueella. 5 GHz:n taajuusalueella käytettävän kanavan 120 keskitaajuus on 5600 MHz. Tästä saatiin laskettua, että 70 dB:n vaimennus on 13,5 metrin päässä tukiasemasta. Vaimennus mustan ympyrän reunassa 5600 MHz taajuudella on lähtölaitureilla 76,9 dB. Tässäkin tapauksessa 2,4 GHz:n taajuus kattaa hyvin lähtö- ja tulolaiturit. 5 GHz:n taajuusalueella saadaan katettua 70 dB:n vaimennuksella 3, 4, 5 laiturit ja osa kuutoslaiturista.

B-pysäkki valittiin seuraavaksi tukiaseman paikaksi. Tukiaseman kanaviksi valittiin seuraavat kanavat: 2,4 GHz:n alueelle kanava kahdeksan ja 5 GHz:n alueelle kanava 136. Keskitäajuus on kanavalla kahdeksan 2447 MHz ja kanavalla 136 keskitäajuus on 5680 MHz. 70 dB:n vaimennukset ovat 2,4 GHz:n alueella 30,8 metrin päässä ja 5 GHz:n alueella 13,3 metrin päässä tukiasemasta. Tässä tapauksessa, kun haluttu peittoalue on paljon pienempi, niin molemmat taajuusalueet kattavat hyvin alueen.

Viimeiset pysäkit olivat E ja A, jotka vaativat molemmat omat tukiasemat. Tämä johtuu siitä, että pysäkit ovat betonisen maantiesillan alla ja pysäkkien välissä on paksu betoniseinä. Pysäkit ovat muuten lähellä toisiaan, välimatka pysäkkien välissä on vain 16 metriä. Ilman paksua betoniseinää alueelle riittäisi yksi tukiasema. Sillan alla olleilla pysäkeillä ei käytännössä ollut kanavavalinnalla väliä, koska siellä ei ollut signaaleja.

Kanavavalinta aloitettiin A-pysäkistä, johon tukiaseman kanaviksi valittiin 13 ja 120. Pysäkit A ja E eivät tarvinneet mitään vaimennuslaskelmia. Alue on hyvin pieni, jolloin tukiasema pystyy helposti kattamaan tämän alueen.

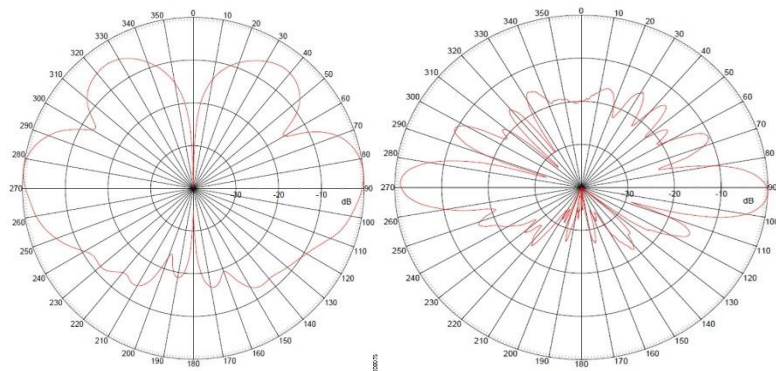
E-pysäkki poikkeaa vain tukiaseman kanavissa A-pysäkin kanssa. Tähän tukiasemaan valittiin käytettäväksi kanavia 3 ja 100. Betoniseinä estää tukiasemia häiritsemästä toisiaan, mutta varmuuden vuoksi valittiin kanavat, jotka eivät mene päällekkäin.

Seuraava vaihe työssä oli antennisuunnittelu, jossa vertailtiin viittä erilaista antennia (TAULUKKO 5). Antennit ovat Ciscon suosittelimia Aironet 1572EAC -tukiasemalle. Antenneista kolme on dual-band-antenneja, jotka toimivat molemmilla taajuusalueilla, ja kaksi single-band-antenneja, jotka on tarkoitettu toimivaksi vain yhdellä taajuusalueella. Kaikki viisi antennia ovat ympärisäteileviä antenneja, koska tällaisessa käyttöympäristössä on hyvä saada antennin säteily kattamaan joka suunnassa.

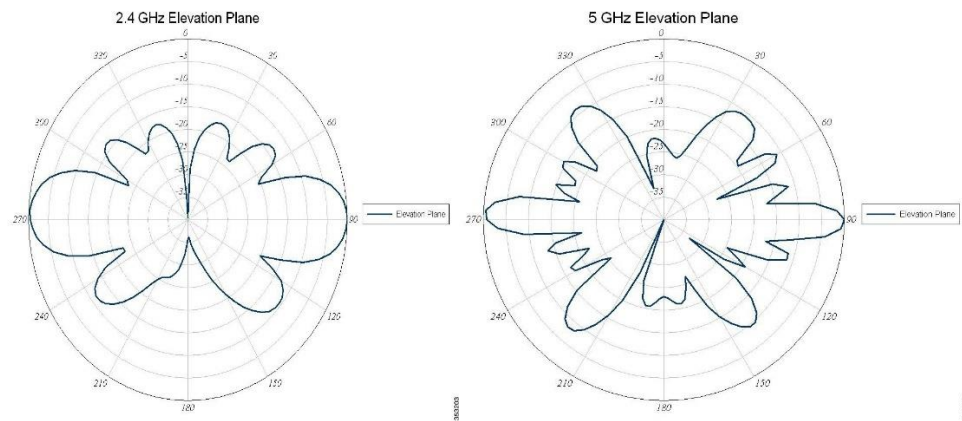
TAULUKKO 5. Antennien tekniset tiedot

	Dual-Band	Dual-Band	Dual-Band	Single-Band	Single-Band
	AIR-ANT2547VG	AIR-ANT2568VG-	AIR-ANT2547V-N	AIR-ANT2480V-N	AIR-ANT5180V-N
Taajuus	2400 - 2483 MHz	2400 - 2483 MHz	2400 - 2483 MHz	2400 - 2484 MHz	
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5925 MHz	5150 - 5875 MHz		4900 - 5850 MHz
Vahvistus 2,4 GHz	4-dBi	6-dBi	4-dBi	8-dBi	
Vahvistus 5 GHz	7-dBi	8-dBi	7-dBi		8-dBi
Polarisaatio	Lineaarinen	Vertikaalinen	Lineaarinen	Vertikaalinen	Lineaarinen
Pituus	28,2 cm	37,7 cm	28,2 cm	49,5 cm	27,9 cm
Halkaisija	3,17 cm	3,81 cm	3,17 cm	1,91 cm	2,54 cm
Paino	170,0 g	204,1 g	170,0 g		160,0 g
Liityntätyyppi	N-male	N-male	N-male	N-male	N-male
Käyttölämpötila	-40 - 85 C°	-30 - 70 C°	-40 - 85 C°	-30 - 70 C°	-30 - 70 C°

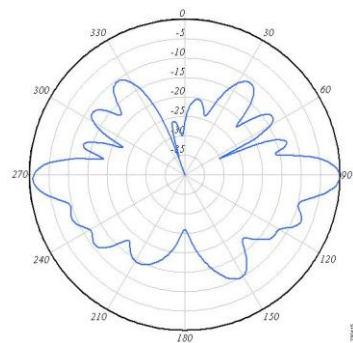
Antennit eivät paljon eroa toisistaan. Eroa on vahvistuksissa, hieman taajuusalueissa, säteilykuvioissa (KUVIOT 27-30) ja mitoissa. Antennit AIR-ANT2547VG-N ja AIR-ANT2547V-N ovat muuten identtiset keskenään lukuun ottamatta antennin mallissa olevaa g-kirjainta, joka tarkoittaa antennin harmaata väriä. Antennin AIR-ANT2547V-N väri on valkoinen.



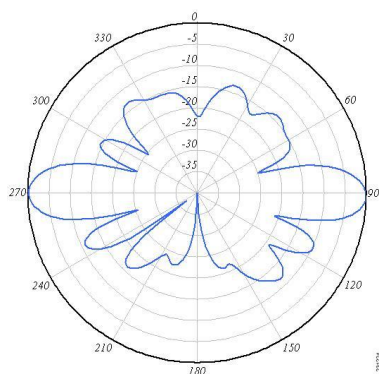
KUVIO 27. AIR-ANT2547VG-N säteilykuviot 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueilta (Cisco 2016a)



KUVIO 28. AIR-ANT2568VG-N säteilykuviot 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueilta (Cisco 2016b)



KUVIO 29. AIR-ANT2480V-N säteilykuvio 2,4 GHz:n taajuusalueelta (Cisco 2016c)



KUVIO 30. AIR-ANT5180V-N säteilykuvio 5 GHz:n taajuusalueelta (Cisco 2016d)

Edellä olleita säteilykuvioita katsomalla huomataan, että paras säteilykuvio oli antennilla AIR-ANT2547VG-N 2,4 GHz:n taajuusalueella ja tietysti antennilla AIR-ANT2547V-N, joka oli identtinen antennin AIR-ANT2547VG-N kanssa. Antennivahvistus oli näillä antenneilla pienempi kuin muilla verrattavilla antenneilla. Vahvistus näillä antenneilla oli 4 dBi:ä 2,4 GHz:n alueella ja 7 dBi:ä 5 GHz:n alueella. Molemmat antennit ovat dual-band-antenneja ja ne toimivat lineaarisella polarisaatiolla.

Käytettäväksi antenniksi tukiasemaan valittiin AIR-ANT2547VG-N. Valintaan vaikutti eniten säteilykuvio. Säteilykuvioista selvisi, että tämä antenni säteili hyvin eri suuntiin verrattuna muihin antenneihin, mikä tarkoittaa sitä, että antenni kattoi laajimman alueen. Valintaan vaikutti myös, että antenni on dual-band-antenni, jolloin saadaan parempi tiedonsiirtonopeus. Näitä antenneja laitettuna neljä Cisco Aironet 1572EAC -tukiasemaan voidaan teoriassa saada jopa 1,69 Gbit/s tiedonsiirtonopeus 160 MHz:n kaistanleveydellä, jos vastaanottopäässä on kaksi antennia. Antennien AIR-ANT2547V-N ja AIR-ANT2547VG-N välisen valinnan ratkaisi antennin harmaa väri, joka on samanvärinen tukiaseman kanssa.

Matkakeskuksen verkon suunnitelma auttaa Mastonet-verkon laajentamisessa Matkakeskuksen alueelle, niin että linja-autoliikenteen pysäkeille saadaan Mastonet-verkon kuuluvuus. Tulevaisuudessa laajennusta voidaan jatkaa asemarakennuksen toisella puolella oleville junalaitureille ja sekä tulevaisuudessa asemapäällikön taloon kaavailtuun kahvila-leipomoon.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella Mastonet-verkon laajennus helmikuussa 2016 Lahdessa avatun uuden Matkakeskuksen alueelle. Työssä lähdettiin liikkeelle kanavamittauksilla, jotka suoritettiin rautatieaseman sisällä ja ulkona olevilla linja-autopysäkeillä ja -laitureilla. Mittauksissa saatiin selville tämänhetkinen tilanne käytössä olevista kanavista ja yhteyksistä. Mittauksessa selvisi myös, että rautatieaseman sisään ei tarvita tukiasemaa, koska siellä oli jo ennestään yksi Mastonet-verkon tukiasema.

Työn seuraava vaihe oli tukiaseman valinta annettujen vaatimusten perusteella. Vaatimuksina olivat ulkokäyttöön sopiva, Ciscon tukiasema ja 802.11ac-standardia tukeva. Tukiasemaksi valittiin vaatimusten perusteella Cisco Aironet 1572EAC, joka oli ainoa, joka täytti nämä vaatimukset. Tukiasemille valittiin seuraavaksi paikat niin, että niiden kuuluvuus kattaisi hyvin linja-autopysäkit ja -laiturit. Työssä laskettiin peittoaluetta vapaan tilan vaimennuksella, jossa maksimivaimennukseksi valittiin 70 dB, koska sitä pidettiin vielä hyvänä arvona. Tukiasemien paikoiksi valittiin pysäkit A, B, D, E ja linja-autolaituri 4. Tällä paikkojen valinnalla saatiin hyvin kattamaan haluttu alue.

Käytettävät kanavat valittiin jokaiselle tukiasemalle niin, että päällekkäisiä kanavia ei syntyisi jo käytössä olleiden kanavien eikä uusien tulevien tukiasemien kanssa. Kanavaryhmäksi valittiin 2,4 GHz:n alueelle 3, 8, 13 ja 5 GHz:n alueelle 100, 120, 136. Näistä valittiin kanaviksi A-pysäkillä 13 ja 120, B-pysäkillä 8 ja 136, D-pysäkillä 3 ja 100, E-pysäkillä 3 ja 100 ja laiturille 4 kanavat 13 ja 120. Valitsemalla nämä kanavat suunnitelmaan saatiin tämänhetkisen tilanteen mukaan kanavat, jotka eivät häiritse toisiaan.

Työssä vertailtiin viittä erilaista ympärisäteilevää antennia, joita Cisco suositteli käytettäväksi Cisco Aironet 1572EAC tukiaseman kanssa. Niistä kolme oli dual-band-antenneja ja kaksi single-band-antenneja. Antenniksi valittiin AIR-ANT2547VG-N. Tämä valittiin säteilykuvion perusteella, koska tällä antennilla oli kaikista laajin säteilykuvio, joka peitti parhaiten ympäriltään aluetta. Valintaan vaikutti tietysti myös antennin toimivuus molemmilla taajuusalueilla. Antennin toimivuus molemmilla taajuusalueilla luo mahdollisuuden nopeampaan tiedonsiirtoon.

Työn tuloksena saatiin hyvin alueen kattava ja häiriötön Mastonet-verkon laajennussuunnitelma Matkakeskuksen alueelle. Matkakeskuksen myötä alueella lisääntynyt ihmismäärä on kasvattanut WLAN-verkon tarvetta alueelle. Tulevaisuudessa Mastonet-verkon kuuluvuutta tällä alueella voi laajentaa asemarakennuksen takana oleville junalaitureille ja tulevaisuudessa suunnitteilla olevalle asemapäällikön taloon tulevan kahvilan alueelle.

LÄHTEET

Bitlanders. 2014. Propagation Models and Propagation of Signal [viitattu 12.4.2016]. Saatavissa: <http://www.bitlanders.com/blogs/propagation-models-and-propagation-of-signal/251725>

Cisco Systems. 2013. Wireless LAN design guide for high density client environments in higher education. [viitattu 12.4.2016]. Saatavissa: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1250-series/design_guide_c07-693245.html

Cisco. 2015. Cisco Aironet 1570 Series Outdoor Access Point [viitattu 7.5.2016]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1570-series/datasheet-c78-732348.pdf>

Cisco. 2016a. Cisco Aironet Dual-Band Omnidirectional Antenna (AIR-ANT2547VG-N) [viitattu 8.5.2016]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2547vgn.html>

Cisco. 2016b. Cisco Aironet Dual-Band Omnidirectional Antenna (AIR-ANT2568VG-N) [viitattu 8.5.2016]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2568vgn.html>

Cisco. 2016c. Cisco Aironet 8-dBi Omnidirectional Antenna (AIR-ANT2480V-N) [viitattu 8.5.2016]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2480v.html>

Cisco. 2016d. Cisco Aironet 8-dBi Omnidirectional Antenna (AIR-ANT5180V-N) [viitattu 8.5.2016]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant5180v.html>

Ficom. 2016. Langaton lähiverkko eli WLAN [viitattu 14.2.2016]. Saatavissa: http://www.ficom.fi/tietoa_4_1.html?Id=1052071509.html

Flylib. 2016. How Does Wireless LAN Work? [viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: <http://flylib.com/books/en/4.160.1.67/1/>

Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. Porvoo: WSOY pro/Docendo-tuotteet.

Hyrkäs, M. 2015. Radiojärjestelmät. Luento Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Lahti

Krimaka. 2016. OSI ja TCP/IP -malli [viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: <http://www.krimaka.net/tietotekniikka/verkko-ja-ethernet/osi-ja-tcp-ip-mallit.html>

Lahti Region. 2016. Lahden Matkakeskus [viitattu 15.4.2016]. Saatavissa: <http://www.lahtiregion.fi/matkakeskus>

Mtiwe. Antenna Fundamentals [viitattu 23.4.2016]. Saatavissa: <http://www.mtiwe.com/?CategoryID=353&ArticleID=163>

Netgear. 2016. What is the difference between 2.4 GHz and 5GHz? [viitattu 19.4.2016]. Saatavissa: http://kb.netgear.com/app/answers/detail/a_id/29396/~/-/what-is-the-difference-between-2.4-ghz-and-5ghz%3F

Networkcomputing. 2016. Channel Bonding In WiFi: Rules And Regulations [viitattu 18.4.2016]. Saatavissa: <http://www.networkcomputing.com/wireless/channel-bonding-wifi-rules-and-regulations/199326059>

Radio-Electronics. 2016. Wi-Fi/WLAN channels, frequencies, bands & bandwidths [viitattu 18.4.2016]. Saatavissa: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

Seifi, N. 2011. Basic Principles of Wireless Networks. Division of Communication Systems, Information Theory, and Antenna, Chalmers University of Technology.

Slideplayer. 2015. Antennas & feed lines [viitattu 23.4.2016]. Saatavissa: <http://slideplayer.com/slide/5895173/>

Tutorial-reports. 2013. IEEE 802.11 Architecture [viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: http://www.tutorial-reports.com/wireless/wlanwifi/wifi_architecture.php

Viestintävirasto. 2015. Radiotaajuudet ja niiden käyttö [viitattu 12.4.2016]. Saatavissa: <https://viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto.html>

Wikipedia. 2015a. Antenni [viitattu 19.4.2016]. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Antenni>

Wikipedia. 2015b. IEEE 802.11 [viitattu 7.4.2016]. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

Wikipedia. 2016a. IEEE 802.11ac [viitattu 10.4.2016]. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac

Wikipedia. 2016b. List of WLAN channels [viitattu 14.4.2016]. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels

Wikipedia. 2016c. WLAN [viitattu 10.4.2016]. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/WLAN>

Wildpackets. 2016. 802.11 WLAN Packets and Protocols [viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: http://www.wildpackets.com/resources/compendium/wireless_lan/wlan_packets

Wimo. 2016. Wideband Directional Antenna for GSM/GPRS/EDGE/HSDPA [viitattu 19.4.2016]. Saatavissa: http://www.wimo.com/gsm-antennas_e.html

Youtube. 2010. Ympärisäteilevä piiska-antenni 12 dBi [viitattu 19.4.2016]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=NoP_P1LY2bl